

JAIRO MARLON CORRÊA

**ESTUDO DO CONTROLE E ANÁLISE DA CAPACIDADE DE PROCESSO DE
PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia (PPGMNE) do Departamento de Construção Civil (Setor de Tecnologia) e do Departamento de Matemática (Setor de Ciências Exatas) da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências, na Área de Concentração em Programação Matemática e na Linha de Pesquisa em Métodos Estatísticos Aplicados à Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Chaves Neto.

**Curitiba
2007**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter proporcionado a alegria e saúde para que eu pudesse realizar este trabalho.

Agradeço a minha família que sempre me incentivou e sempre esteve presente ao longo dos dias de minha vida.

Agradeço a todos os amigos que sempre desejaram o melhor para mim e que acreditaram no meu potencial, principalmente aos meus amigos Levi Lopes e Samuel Bellido, com os quais sempre compartilhei conhecimentos durante o curso.

Aos funcionários da Sanepar de Foz do Iguaçu Nilto Pereira e Mauro Alberto Betanin por cederem informações preciosas para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Anselmo Chaves Neto, pelo incentivo durante todo o curso, pela orientação que contribuiu significativamente para a concretização deste trabalho e pela amizade.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS	IX
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUÇÃO	1
1.1 - TEMA DO ESTUDO	1
1.2 - OBJETIVOS	2
1.3 – JUSTIFICATIVA	3
1.4 - ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
2 - REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 - ÁGUA, UM BEM NATURAL	5
2.1.1 – Tipos de água e suas utilizações	5
2.1.2 – Aspectos físicos, químicos e biológicos da água.....	7
2.1.3 Tecnologias de Tratamento	8
2.1.4 – Padrões de Potabilidade.....	9
2.1.5 – Parâmetros Estudados.....	19
2.1.5.1 – Parâmetro Turbidez	20
2.1.5.2 – Parâmetro pH.....	20
2.1.5.3 – Parâmetro Cloro.....	21
2.1.5.4 – Parâmetro Flúor	21
2.1.5.5 – Parâmetro Alumínio	21
2.2 – TÉCNICAS ESTATÍSTICAS DA QUALIDADE.....	22
2.2.1 – Aprimoramento da Qualidade	22
2.2.2 – Causas Aleatórias (Inerentes ao Processo) e Causas Especiais de Variação das Características dos Produtos	26
2.2.3 – Principais Ferramentas do CEP	27
2.2.3.1 – Cartas de Controle	28

2.2.3.1.1- Carta da Média \bar{x}	31
2.2.3.1.2- Carta da Amplitude R.....	33
2.2.3.1.3 – Carta de Controle para Medidas Individuais	34
2.2.3.1.4 – Carta de Controle \bar{x} e S com Tamanho de Amostra Variável.	35
2.2.3.1.5 – Carta de Controle para Fração de Não-Conformes ou Carta p.....	36
2.2.3.1.6 – Carta de Controle np.....	37
2.2.3.1.7 – Carta de Controle c	38
2.2.3.1.8 – Carta de Controle U.....	39
2.2.3.2 – Distribuição de Frequências, Histograma e Gaussianidade.....	40
2.2.3.3 - Folha de Controle ou de Verificação.....	42
2.2.3.4 – Diagrama de Pareto	43
2.2.3.5 – Diagrama de Causa-e-Efeito.....	44
2.2.3.6 – Diagrama de Dispersão.....	46
2.2.3.7 – Diagrama de Caixa	47
2.2.4 – Capacidade do Processo (C_p).....	49
2.2.5 – Capacidade do Processo para um Processo Descentrado	54
2.2.5.1 – Terceira Geração do Índice de Capacidade do Processo	56
2.2.5 – Trabalhos Anteriores	57
2.3 – ETAPAS DO TRATAMENTO DA ÁGUA	59
3. MATERIAL E MÉTODO	61
3.1 – MATERIAL	61
3.2 – IMPLEMENTAÇÃO DO CEP	63
3.2.1 – Análise dos Índices de Capacidade do Processo para Dados Históricos	65
3.2.2 – Implementação das Cartas de Controle para Monitoramento Contínuo do Processo	66
3.2.3 – Implementação dos Índices de Capacidade para o Monitoramento do Processo	67
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1 – Resultados do Histórico.....	69
4.1.1 – Índices de Capacidade do Processo para a Turbidez da Água Tratada ..	69
4.1.2 – Índices de Capacidade do Processo para o pH da Água Tratada.....	74

4.1.3 – Índices de Capacidade do Processo para o Cloro da Água Tratada	79
4.1.4 – Índices de Capacidade do Processo para o Residual de Alumínio da Água Tratada	83
4.1.5 – Índices de Capacidade do Processo para Flúor da Água Tratada.....	88
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
APÊNDICE	94
REFERÊNCIAS	101
ANEXO I – FATORES PARA A CONSTRUÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE PARA VARIÁVEIS	105
ANEXO II – PORTARIA 518 DE 25 DE JANEIRO DE 2004 – MINISTÉRIO DA SAÚDE.....	106

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PADRÃO MICROBIOLÓGICO DE POTABILIDADE DA ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO.	11
TABELA 2 - PADRÃO DE TURBIDEZ PARA A ÁGUA PÓS-FILTRAÇÃO OU PRÉ-DESINFECÇÃO.....	12
TABELA 3 - PADRÃO DE POTABILIDADE PARA SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS QUE REPRESENTAM RISCO À SAÚDE	13
TABELA 4 – PADRÃO DE RADIOATIVIDADE PARA A ÁGUA POTÁVEL.....	14
TABELA 5 - PADRÃO DE ACEITAÇÃO PARA CONSUMO HUMANO	14
TABELA 6 - NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS PARA O CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO, PARA FINS DE ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E DE RADIOATIVIDADE, EM FUNÇÃO DO PONTO DE AMOSTRAGEM, DA POPULAÇÃO ABASTECIDA E DO TIPO DE MANANCIAL.....	16
TABELA 7 - FREQUÊNCIA MÍNIMA DE AMOSTRAGEM PARA O CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO, PARA FINS DE ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E DE RADIOATIVIDADE, EM FUNÇÃO DO PONTO DE AMOSTRAGEM, DA POPULAÇÃO ABASTECIDA E DO TIPO DE MANANCIAL.....	17
TABELA 8 - NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS MENSAIS PARA O CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO, PARA FINS DE ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS, EM FUNÇÃO DA POPULAÇÃO ABASTECIDA.....	18
TABELA 9 - VALORES PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA EM JANEIRO DE 2004 - FOZ DO IGUAÇU.....	40
TABELA 10 - FOLHA DE CONTROLE PARA REGISTRAR AS NÃO-CONFORMIDADES DURANTE O PROCESSO DE TRATAMENTO DA ÁGUA. DADOS FICTÍCIOS.....	42
TABELA 11 - TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA – JANEIRO DE 2004 – FOZ DO IGUAÇU.....	45
TABELA 12 – PH X TURBIDEZ DA ÁGUA EM JANEIRO DE 2004	47
TABELA 13 - CLORO RESIDUAL NA ÁGUA TRATADA NO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU, NOS MESES DE JANEIRO, MAIO E OUTUBRO DE 2004.	48

TABELA 14 - VALORES DA RAZÃO DA CAPACIDADE DE UM PROCESSO (C_p) E FALHAS ASSOCIADAS (EM PPM DEFEITUOSAS) PARA UM PROCESSO NORMALMENTE DISTRIBUÍDO QUE ESTÁ SOB CONTROLE ESTATÍSTICO.....	53
TABELA 15 - LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO SUGERIDOS PELA PORTARIA DO MINISTÉRIO DA SAÚDE.....	65
TABELA 16 - ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA. PERÍODO DE 2004 A 2006.....	69
TABELA 17- ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO PARA O PH DA ÁGUA TRATADA. PERÍODO DE 2004 A 2006.....	75
TABELA 18 - ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO PARA O CLORO DA ÁGUA TRATADA. PERÍODO DE 2004 A 2006.....	79
TABELA 19 - ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO DA ÁGUA TRATADA. PERÍODO DE 2004 a 2006.	84
TABELA 20 - ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO PARA O FLÚOR DA ÁGUA TRATADA. PERÍODO DE 2004 A 2006.....	89

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CAUSAS ALEATÓRIAS OU INERENTES AO PROCESSO E CAUSAS ESPECIAIS ATUANDO NO PROCESSO.....	27
FIGURA 2 - CARTA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA DO DIA 30 DE DEZEMBRO DE 2006	29
FIGURA 3 - CARTA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA DO DIA 04 DE DEZEMBRO DE 2006	29
FIGURA 4 - HISTOGRAMA DA TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA NO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU NO MÊS DE JANEIRO DE 2004.....	41
FIGURA 5 - GRÁFICO DE PARETO PARA OS DADOS DA ÁGUA DE BAIXA QUALIDADE.....	43
FIGURA 7 - DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO.....	44
FIGURA 6 - CARTA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA - ETA: VILA C - FOZ DO IGUAÇU.....	46
FIGURA 8 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO TURBIDEZ X PH DA ÁGUA TRATADA.	47
FIGURA 9 - DIAGRAMA DE CAIXA PARA O CLORO RESIDUAL PARA JANEIRO, MAIO E OUTUBRO DE 2004.	49
FIGURA 10 - HISTOGRAMA PARA O CLORO EM JANEIRO DE 2004, FOZ DO IGUAÇU.....	51
FIGURA 11 – MÉDIA DO PROCESSO	52
FIGURA 12 – CAUSAS ALEATÓRIAS E CAUSAS ATRIBUTÁVEIS DA VARIABILIDADE.....	54
FIGURA 13 – DOIS PROCESSOS COM $C_{pk} = 1,33$	56
FIGURA 14 - ESTÁGIOS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA ÁGUA POTÁVEL...	59
FIGURA 15 - BOLETIM DIÁRIO DE TRATAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DA VILA C MÊS DE DEZEMBRO DE 2006 – FOZ DO IGUAÇU, PR.....	62
FIGURA 16 - BOLETIM MENSAL DE TRATAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DA VILA C JANEIRO DE 2004.....	63
FIGURA 17 - CARTA DE CONTROLE PARA VALORES INDIVIDUAIS PARA A TURBIDEZ DO DIA 1 DE DEZEMBRO DE 2006.....	67

FIGURA 18 – CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO E RESUMO ESTATÍSTICO DO PROCESSO PARA A TURBIDEZ DO DIA 1 DE DEZEMBRO DE 2006.....	68
FIGURA 19 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.....	70
FIGURA 20 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2005 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.....	71
FIGURA 21 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2006 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.....	72
FIGURA 22 - GRÁFICO: NÚMERO DE AMOSTRAS FORA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ	72
FIGURA 23 - CARTA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA DO MÊS DE AGOSTO DE 2004.	73
FIGURA 24 - CARTA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA DO MÊS DE OUTUBRO DE 2005	73
FIGURA 25 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O PH DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.	76
FIGURA 26 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O PH DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2005 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.	77
FIGURA 27 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O PH DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2006 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.	77
FIGURA 28 - GRÁFICO: NÚMERO DE AMOSTRAS FORA DE CONTROLE PARA O PH.....	78
FIGURA 29 - CARTA DE CONTROLE PARA O PH DA ÁGUA TRATADA PARA O MÊS DE SETEMBRO DE 2004.....	78
FIGURA 30 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O CLORO DA ÁGUA TRATADA PARA O	

ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.....	80
FIGURA 31 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O CLORO DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2005 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.....	81
FIGURA 32 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O CLORO DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2006 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.....	81
FIGURA 33 - GRÁFICO: NÚMERO DE AMOSTRAS FORA DE CONTROLE PARA O CLORO.....	82
FIGURA 34 - CARTA DE CONTROLE PARA O CLORO DA ÁGUA TRATADA PARA O MÊS DE JULHO DE 2005.	82
FIGURA 35 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.	85
FIGURA 36 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2005 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.	86
FIGURA 37 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.	86
FIGURA 38 - GRÁFICO: NÚMERO DE AMOSTRAS FORA DE CONTROLE PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO.....	87
FIGURA 39 - CARTA DE CONTROLE PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO DA ÁGUA TRATADA - OUTUBRO DE 2005.....	87
FIGURA 40 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O FLÚOR DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.....	90
FIGURA 41 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O FLÚOR DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2005 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.....	91

FIGURA 42 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O FLÚOR DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2006 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.....	91
FIGURA 43 - GRÁFICO: NÚMERO DE AMOSTRAS FORA DE CONTROLE PARA O FLÚOR	92
FIGURA 44 - MENU PRINCIPAL DA APLICAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE	94
FIGURA 45 - MENU PH DA APLICAÇÃO PARA AS CARTAS DE CONTROLE	95
FIGURA 46 - MENU PH MÊS DE JANEIRO DE 2007	96
FIGURA 47 - CARTA DE CONTROLE PARA VALORES INDIVIDUAIS PARA O PH DO DIA 01 DE JANEIRO DE 2007.....	97
FIGURA 48 - CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO E RESUMO ESTATÍSTICO DO PROCESSO DIÁRIO	98
FIGURA 49 - GRÁFICO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE DURANTE O MÊS DE JANEIRO DE 2007	99

RESUMO

As técnicas estatísticas são consideradas ferramentas fundamentais para o monitoramento da qualidade. Sendo a água um elemento natural de vital importância, foram utilizadas tais técnicas para medir quão eficiente é o sistema de tratamento da água da Cia. de Saneamento do Paraná - Sanepar no Município de Foz do Iguaçu na estação de tratamento da Vila C. Por amostragem foram elaboradas cartas de controle e calcularam-se os índices de capacidade do processo entre os anos de 2004 e 2006. Levando em consideração a Portaria 518 do Ministério da Saúde, que determina os limites mínimos e máximos de aceitação para a água tratada, a empresa produz água de qualidade para a população de Foz do Iguaçu. Estatisticamente, em alguns momentos a análise detectou alta variabilidade em relação ao desvio padrão, o que pode ser melhorado através do monitoramento contínuo através da programação desenvolvida para o ano de 2007. Foi desenvolvido um programa, em *Excel* que apóia o monitoramento das características de qualidade da água tratada. A escolha do *software Excel* foi feita em consonância com a informática usada na estação de tratamento. A série temporal da capacidade do processo foi analisada para o período de 2004 a 2006.

Palavras-Chave: Qualidade da água, Capacidade de processo, Controle Estatístico do Processo.

ABSTRACT

The statistical techniques are considered essential tools for quality monitoring. Being the water a natural element of vital importance, such techniques were used to measure the efficiency of the water treatment system of the Sanitation Company of Paraná – Sanepar, located in the treatment station of *Vila C* district, in the city of Foz do Iguaçu. For sampling, control charts were elaborated and the capability indexes of the process were calculated between the years of 2004 and 2006. Taking into account the decree of the Ministry of Health Nr. 518, which determines the minimum and maximum limits of acceptance of the treated water, the company produces quality water for the population of Foz do Iguaçu. Statistically, in some moments, the analysis detected high variability in relation to the standard deviation, which can be improved by the continuous monitoring through the programming developed for the year of 2007. An *Excel* program was developed to support the monitoring of the treated water quality features. The choice of *Excel* was made in consonance with the computer software used in the treatment station. The temporal series of the process capability was analyzed in the period from 2004 to 2006.

Keywords: Water's Quality, Process Capability, Statistical Control of the Process.

INTRODUÇÃO

1.1 - TEMA DO ESTUDO

Qualidade representa hoje um fator fundamental para a permanência de uma empresa no seu mercado de atuação e conquista de novos mercados. O ambiente de atuação das empresas é hoje em dia altamente competitivo. A concorrência força as empresas a adotarem medidas administrativas e técnicas que visem sua sobrevivência, pois o consumidor está se tornando cada vez mais exigente e busca qualidade a baixo preço. Frente à necessidade de sobrevivência empresarial, a busca de técnicas de melhoria na qualidade deve ser contínua. E, em consequência desta demanda, as empresas procuram obter um aumento na sua produtividade e na sua competitividade, para com isto manter o seu cliente satisfeito. As empresas, para se manterem permanentemente no mercado, devem buscar o grande diferencial que se encontra principalmente na qualidade dos seus produtos e serviços.

Durante o processo de produção de bens ou serviços, o planejamento deve buscar a menor taxa de itens não-conformes. As metas devem ser traçadas para que a empresa adote-as como um alvo-referência. Assim, a qualidade não é aqui vista como apenas um detalhe e sim como ganho de produtividade que gera aumentos de ganhos financeiros seja pela agilidade no processo de fabricação, seja através da diminuição de re-trabalho e/ou sucata. Dessa forma a empresa terá melhor aceitação do produto por parte dos clientes, ganhando confiança em seus serviços e conquistando mercados com seus baixos preços e qualidade.

A qualidade de um produto ou de serviço prestado por uma empresa está diretamente voltada à qualidade do processo que o produz. O produto final é símbolo de qualidade quando durante cada um dos vários estágios da produção ocorrer a menor variabilidade possível. Portanto, identificar as causas da variabilidade e eliminá-las do processo deve ser um dos objetivos fundamentais da administração da empresa.

O uso de ferramentas estatísticas no controle da qualidade produz resultados sólidos e consistentes no que diz respeito ao controle da variabilidade das variáveis, buscando manter seus níveis dentro dos limites aceitáveis ou pré-estabelecidos e, ainda, identificando causas da variabilidade a serem eliminadas.

A melhoria contínua da qualidade é o objetivo principal das empresas que pretendem permanecer no mercado em todo o tempo. Companhias de distribuição de água também sentem a necessidade de adaptação de seus produtos e tornam-se interessadas em adquirir soluções para o melhor tratamento da qualidade da água potável, embora elas não estejam sujeitas à concorrência. Mas a qualidade dos seus serviços é regulamentada pela Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, e as especificações ditadas nesse documento devem ser satisfeitas na sua totalidade. Ademais, a medida que se aumenta a qualidade desse serviço a produtividade aumenta, ou seja, o custo por 1000 ℓ tende a baixar.

A aplicação das técnicas estatísticas permitiu o acompanhamento eficiente do processo de tratamento da água de consumo. Uma vez que a Sanepar, Companhia de Saneamento do Paraná, é responsável pelo tratamento da água para milhões de paranaenses, este trabalho restringiu-se apenas ao Município de Foz do Iguaçu, onde são utilizadas algumas técnicas estatísticas básicas no controle da qualidade da água potável. A Sanepar opera dentro das especificações estabelecidas na Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

1.2 - OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho podem ser detalhados da forma seguinte:

Objetivo Geral:

Construir um modelo para a aplicação das técnicas estatísticas do CEP – Controle Estatístico do Processo – na Companhia de Saneamento do Paraná no município de Foz do Iguaçu, visando contribuir para o aprimoramento qualitativo do processo de tratamento da água potável voltada ao consumo da população e elaborar um programa em EXCEL que facilite a aplicação das técnicas estatísticas no monitoramento das características de qualidade da água tratada.

Objetivos específicos:

1. Aplicação das ferramentas de CEP no monitoramento das características de qualidade da água potável.

2. Elaborar cartas de controle para as características de qualidade da água potável e estimar os índices de capacidade do processo (potencial, atual e atual modificado).
3. Analisar a capacidade de processo para o período de 2004 a 2006 e construir uma série temporal com os resultados.
4. Auxiliar na determinação das causas especiais de variabilidade anormal que atuam durante o as fases do processo de tratamento da água.
5. Contribuir para a criação de ações preventivas para a eliminação das causas de não conformidades potenciais.

1.3 – JUSTIFICATIVA

O Ministério da Saúde descreve como água potável aquela com qualidade apropriada para o consumo humano. As especificações quanto aos limites de aceitação das características de potabilidade da água estão definidas pela Portaria 518/04. Por um lado, há um aumento nas exigências dos padrões de potabilidade, enquanto que de outro há forte degradação da qualidade da água através da contaminação do meio ambiente, principalmente a de origem antrópica. Desse modo, aumenta a dificuldade de potabilização das águas, uma vez que a cada dia são necessários processos mais evoluídos e controle mais cauteloso durante o processo do tratamento.

Sendo assim, torna-se necessária à construção de um modelo estatístico voltado à melhoria da qualidade da água produzida, tendo em vista a prevenção de não conformidades, manutenção preventiva, ou seja, de um atendimento e adequação aos padrões da Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde. Ainda busca-se uma melhoria na capacidade/habilidade em determinar e atuar nas fontes de variabilidade que comprometem a qualidade da água tratada.

No município de Foz do Iguaçu, a empresa ainda não possui cartas de controle e desconhece o que vem a ser o conceito de capacidade de processo. A estimação dos índices de capacidade para as características com especificação na Portaria nº 518/04 é bastante interessante, pois atualmente os técnicos da empresa analisam o seu processo apenas com estatísticas descritivas, tais como, média, valor máximo e valor mínimo, que são as referências padronizadas pela portaria. Uma evolução nas técnicas estatísticas aplicadas trará outras informações importantes.

No presente trabalho, através do uso de ferramentas estatísticas do CEP – Controle Estatístico do Processo, estudam-se os problemas de variações nos índices de componentes da água tratada, distribuídas a população, tais como: PH, Turbidez, Alumínio, Flúor e Cloro.

Isso possibilitará um ganho produtivo no tratamento da água através da eliminação do re-trabalho e desperdício das soluções químicas. Sendo assim, o resultado imediato é a redução nos custos do tratamento da água potável, melhoria dos ganhos financeiros para a empresa e para o cliente e satisfação de ambos.

De maneira geral, há possibilidade de melhoria no processo de produção. Este trabalho visa demonstrar que é possível associar técnicas aqui apresentadas com as técnicas já utilizadas pela empresa. Isso possibilitará a implementação de novos procedimentos de trabalho para a redução da variabilidade dos limites especificados pela empresa, que atendem aos requisitos impostos pela portaria do Ministério da Saúde, operando em um nível de estabilidade ainda maior, com menor variabilidade.

1.4 - ESTRUTURA DO TRABALHO

Além desta introdução, esta dissertação também conta no segundo capítulo com uma revisão de literatura, onde são citados ou descritos alguns trabalhos realizados na área do tratamento da água potável e que utilizam técnicas estatísticas para controle da qualidade. No terceiro capítulo são descritos os materiais utilizados e os métodos aplicados. No quarto capítulo são apresentados e discutidos os resultados conseguidos. Por último tem-se a conclusão e as referências.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

A água é o elemento natural fundamental para a sobrevivência do ser humano. Conforme DI BERNARDO (2005), do total de água existente na natureza, estima-se que apenas 5% se constitui no que se entende por água doce, enquanto que 95% são águas salgadas. A maior parte da água da natureza está sob a forma de gelo, com predominância da água subterrânea. Dado que apenas 0,3% da água do planeta pode ser aproveitada diretamente para consumo humano, há necessidade de se retirarem as impurezas existentes na água para que se torne adequada aos padrões de potabilidade. Durante o processo de retirada de impurezas, ou seja, no tratamento da água para atender a potabilidade, são feitas medições das características exigidas em Portaria. Então, são estabelecidos intervalos máximos de variação. Para tanto, a potabilidade é verificada quanto ao atendimento aos padrões exigidos.

2.1 - ÁGUA, *UM BEM NATURAL*

2.1.1 – Tipos de água e suas utilizações

O CONAMA¹ publicou a resolução 357 de março de 2005, que classifica as águas em: doces, salobras e salinas. As águas doces são constituídas de um grau de salinidade igual ou inferior a 0,5%, as águas salobras são aquelas que possuem salinidade superior a 0,5% e inferior a 30% e as águas salinas possuem salinidade igual ou superior a 30%.

Conforme resolução 357 do CONAMA, as águas doces são classificadas em quatro classes:

- Classe 1: águas que, após tratamento simplificado, podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, à proteção das comunidades aquáticas, à recreação como natação, mergulho, esqui aquático, etc. conforme Resolução CONAMA 274, de 2000. Podem, também, ser destinadas à irrigação de hortaliças, consumidas por seres humanos na forma crua, irrigação de frutas com desenvolvimento rente ao solo que

¹ Conselho Nacional do Meio Ambiente

podem ser ingeridas cruas sem retirada da casca e proteção das comunidades aquáticas em territórios indígenas;

- Classe 2: águas que, após tratamento convencional, podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, à proteção de comunidades aquáticas, à recreação como natação, mergulho, esqui aquático, etc. conforme Resolução CONAMA 274, de 2000. Podem, também, ser destinadas à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, parques, jardins, campo de esporte e lazer, aquicultura e pesca;
- Classe 3: águas que, após tratamento convencional ou avançado, podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, à irrigação de plantio de árvores, cereais e árvores forrageiras, à pesca amadora, à recreação e consumo dos animais.
- Classe 4: são as águas que podem ser destinadas à navegação e à harmonia paisagística.

A maior parte da água existente em nosso planeta encontra-se nos mares e oceanos. Estas águas possuem substâncias chamadas sais, que durante milhões de anos foram dissolvidos de rochas de todos os períodos geológicos, caracterizando ligeiramente seu sabor salgado.

A água doce está presente em rios e lagos, e existe em uma quantidade relativamente baixa. A água de rio é doce devido à baixa quantidade de sal, e uma vez que todo rio corre para o mar este fica com a maior quantidade do sal acumulada. As águas utilizadas para o consumo humano são provenientes de rios, lagos, aquíferos e represas, ou seja, águas doces.

Inicialmente a água foi utilizada pelo ser humano como um recurso, tanto para consumo próprio quanto como fonte de alimentos. Os locais onde se estabeleciam grupos de pessoas, geralmente eram caracterizados, em sua maioria, pela presença de água nas imediações.

No decorrer dos tempos, o ser humano passou a utilizar a força das águas (força hidráulica) para o funcionamento de máquinas, moinhos e na irrigação de agricultura. O avanço da tecnologia tornou possível a utilização da força da água na produção de energia elétrica em usinas hidroelétricas. Enfim, a água é utilizada diariamente, seja para a higiene, consumo ou recreação. A água é de grande importância para o ser humano e é uma real necessidade para existência de todos os seres vivos (animal ou vegetal).

2.1.2 – Aspectos físicos, químicos e biológicos da água.

As características físicas da água, do ponto de vista sanitário, têm importância relativamente baixa, contudo, são determinantes na escolha da tecnologia para o tratamento ou condições para a realização das operações necessárias. As características físicas são facilmente determináveis, sendo as principais: Cor, Turbidez, Sabor e Odor, Temperatura e Condutividade Elétrica. A temperatura tem influência na desinfecção, uma vez que influencia nas reações de hidrólise, na eficiência da desinfecção, solubilidade dos gases, sensação do sabor e odor e também nas unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração.

Do ponto de vista sanitário, as características químicas da água são de altíssima importância, uma vez que pode tornar a água inviável para o tratamento, já que cada situação exige uma tecnologia diferenciada para a transformação em água potável, e dependendo da maneira que esses elementos ou compostos químicos se encontram na água é irrealizável a sua remoção.

Exames bacteriológicos e hidrológicos são responsáveis pela detecção de organismos presentes na água, identificando as características biológicas da água. Os resultados destes exames possibilitam determinar a classificação dos organismos nos grupos: algas, protozoários, rotíferos, crustáceos, vermes e larvas de insetos. Quando feitos regularmente, os exames auxiliam nas informações e interpretações de outras análises como poluição das águas e possibilitam adotar medidas cabíveis para controlar e prevenir estes organismos inconvenientes do ponto de vista do tratamento da água.

Vale salientar a distinção entre poluição e contaminação. Para os ecólogos em geral, conforme DI BERNARDO et. al (2005), a poluição é decorrente de todo tipo de perturbação de natureza física, química, biológica que contribuem na alteração da fauna e da flora do meio. Já a contaminação são os efeitos diretos da inserção de substâncias ou organismos nocivos causadores de doenças no ser humano. A poluição de um meio aquático modifica as características físicas da água como a turbidez, cor, temperatura e viscosidade, as características químicas como pH, oxigênio dissolvido, nutrientes, grau de toxicidade entre outros. Também altera as características biológicas como espécies de fitoplâncton e zooplâncton, comprometendo o uso da água para consumo humano e até mesmo dificultando o tratamento.

2.1.3 Tecnologias de Tratamento

Conforme DI BERNARDO (2005), embora seja de importância fundamental, a água pode conter determinadas substâncias, elementos químicos e microorganismos prejudiciais à saúde. Em virtude da industrialização e o crescimento populacional, os índices de contaminação dos mananciais superficiais tem aumentado e, paralelamente, o decréscimo da qualidade das águas subterrâneas tem sido observada. Sendo assim, grande parte das doenças que se alastram, são provenientes da qualidade insatisfatória da água.

No Brasil, conforme DI BERNARDO (2005), estima-se que 60% das internações hospitalares são provenientes da má qualidade da água devido à deficiência de saneamento básico, implicando negativamente na qualidade e expectativa de vida da população. Em diversas localidades do País, tem sido usual a distribuição de água apesar de não atender o padrão de potabilidade. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 51% do volume de água produzida no País são oriundos de rios, 30% de lagos, açudes, reservatórios e o restante provém de poços de superfície, do qual, apenas 58% do volume são tratadas.

Do ponto de vista tecnológico, toda água pode receber tratamento e ser transformada em água potável, porém, cada situação está associada com os custos em relação à tecnologia utilizada para seu tratamento. O ciclo completo do tratamento convencional consiste em retirar impurezas ou resíduos da água, e assim, distribuir à população.

Na escolha do manancial, deve ser feito um levantamento sanitário da bacia hidrográfica e um avançado estudo da qualidade da água, em virtude da variação sazonal e também da variação ao longo dos anos. Esses procedimentos visam à preservação do manancial, evitando problemas provenientes das alterações da qualidade da água, tornando incompatível a tecnologia de tratamento adotada no princípio. O crescimento populacional, a expansão industrial, a concentração demográfica e usos diferentes do solo da bacia hidrográfica fornecem uma idéia inicial da possibilidade de utilização do manancial de acordo com o projeto e as condições econômicas. Levantamentos sanitários devem ocorrer com frequência durante o período de utilização do manancial com intuito de encontrar eventuais perturbações na qualidade da água.

2.1.4 – Padrões de Potabilidade

Naturalmente, são encontrados muitos elementos e substâncias químicas presentes na água. Entretanto, atividades industriais e agrícolas tendem a elevar as concentrações de vários produtos desapropriando-a para o consumo humano. Ao se criar o projeto de instalação de uma estação, o manancial deve ser cuidadosamente escolhido, com determinação das características detalhadas das atividades humanas na região próxima.

Para a qualidade da água tratada no Brasil, é estabelecido o Padrão de Potabilidade na Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde. Em tal portaria, são definidos os limites mínimos e máximos permitidos para um conjunto de parâmetros que devem ser analisados e respeitados para toda água produzida com a finalidade de consumo humano no país. Dado que poucas estações no território nacional não se encontram preparadas para fazer os ensaios previstos em lei, já que a inspeção de certos parâmetros exige equipamento sofisticado e pessoal treinado, fica sob responsabilidade de outros órgãos municipais, estaduais ou federais essa tarefa. Já o envio das amostras para análise das características, fica sob responsabilidade do serviço de tratamento de água. Essas amostras devem atender de forma severa a frequência de amostragem determinada pela Portaria 518, sem exceção.

A atual Portaria do Ministério da Saúde esclarece alguns procedimentos e responsabilidades imprescindíveis para controle da qualidade e o padrão de potabilidade da água para o consumo humano, bem como outras disposições. Vale salientar que toda a água destinada ao consumo humano deve rigorosamente atender as especificações do padrão de potabilidade, ficando sujeita à vigilância de qualidade.

Algumas definições em relação à água tratada para o consumo humano estão presentes na Portaria 518, dentre as quais vale destacar:

- A água potável é a água destinada ao consumo humano, que não ofereça riscos à saúde, cujos parâmetros físicos, químicos, biológicos e radioativos estejam de acordo com o padrão de potabilidade;
- Sistema de abastecimento de água é o conjunto obras, materiais, equipamentos e civis responsáveis pela produção e distribuição da água potável através de sistemas canalizados. É de responsabilidade do poder público;

- Solução alternativa de abastecimento de água são modalidades de abastecimento coletivo distintos do sistema de abastecimento como poço comunitário, fontes, distribuição por veículo transportador entre outros;

- Controle da qualidade da água é o conjunto de atividades contínuas exercidas para verificar se a água produzida e fornecida a população é potável. É de responsabilidade dos operadores do sistema de distribuição de água;

- Vigilância da qualidade da água é o conjunto de ações que verificam se a água consumida pela população não está oferecendo riscos à população e avaliam os riscos que os sistemas e soluções alternativas de abastecimento oferecem para a saúde humana.

- Coliformes totais ou bactérias do grupo coliforme são bacilos gram-negativos que desenvolvem na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ no período de 24 a 48 horas.

- Coliformes termotolerantes é um subgrupo da bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose² a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas. O principal representante é a *Escherichia coli*, de origem unicamente fecal.

- *Escherichia coli* são bactérias do grupo coliforme quem fermentam a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

- Contagem de bactérias heterotróficas é a determinação da concentração de bactérias aptas a gerarem unidades formadoras de colônias, na presença de compostos orgânicos existentes em meio de cultura apropriada, sob condição de incubação de $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 48 horas

- Cianobactérias são microorganismos procarióticos autotróficos³, e são também conhecidas como cianofíceas ou algas azuis. Podem ocorrer em qualquer manancial superficial principalmente onde o nível de nutrientes for maior, produzindo toxinas com efeitos desfavoráveis à saúde.

- Cianotoxinas são toxinas produzidas por cianobactérias que apresentam efeitos impróprios à saúde por ingestão oral.

² Açúcar encontrado no leite dos mamíferos, branco, pulverulento, cristalino; cerebrose [fórm.: $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$].

³ Organismo procarionte: organismo formado por uma única célula desprovida de membrana nuclear que fabrica seu próprio alimento mediante fotossíntese ou quimiossíntese

O padrão microbiológico de potabilidade da água para o consumo humano está fixado na Portaria 518, como segue:

TABELA 1 - PADRÃO MICROBIOLÓGICO DE POTABILIDADE DA ÁGUA PARA O CONSUMO HUMANO.

Parâmetro	VMP (1)
Água para consumo humano (2)	
<i>Escherichia Coli</i> ou coliformes termotolerantes (3)	Ausência em 100m ℓ
Água na saída do tratamento	
Coliformes totais	Ausência em 100m ℓ
Água tratada no sistema de distribuição (reservatórios e rede)	
<i>Escherichia Coli</i> ou coliformes termotolerantes (3)	Ausência em 100m ℓ
Coliformes Totais	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês: ausência em 100m ℓ em 95% das amostras examinadas no mês. Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês: apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100m ℓ

Fonte: Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

NOTAS: (1) valor máximo permitido; (2) água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras; (3) a detecção de *Escherichia Coli* deve ser preferencialmente adotada.

Conforme descrito em portaria, durante o processo de tratamento da água potável o controle da qualidade da água tratada é feito através de amostragem. Caso sejam detectadas amostras com resultados positivos para coliformes totais, o procedimento adotado é tomar amostras nos dias posteriores até que as novas amostras detectem resultado regular. No sistema de distribuição de água potável, as amostras são realizadas em no mínimo três pontos adjacentes simultaneamente, sendo uma no ponto especificado e as outras duas localizadas a montante⁴ e a jusante⁵. Os resultados positivos para coliformes totais devem ser analisados para *Escherichia Coli* e/ou coliformes termotolerantes com verificação e confirmação de algum resultado positivo. Mensalmente deve ser analisado o percentual das amostras com resultado positivo para coliformes totais em relação à quantidade total de amostras, excluindo as re-coletas. Caso o resultado para coliformes

⁴ Para o lado da nascente (de um rio)

⁵ Para o lado em que vaza a maré, ou um curso de água

totais seja negativo em re-coletas, o resultado originalmente positivo não é anulado para cálculo dos percentuais de amostras com resultado positivo.

Deve ser efetuada, em 20% das amostras mensais para análise de coliformes totais no sistema de distribuição, a contagem de bactérias heterotróficas. Caso o resultado exceda 500 UFC⁶ por mℓ, imediatamente devem ser re-coletadas as amostras juntamente com inspeção local e, no caso da detecção de alguma irregularidade, as providências cabíveis devem ser tomadas. É recomendado, como complementação, a inclusão de pesquisa de organismos patogênicos a fim de atingir um padrão de ausência de enterovírus, cistos de *Giardia* ssp entre outros.

O padrão de turbidez da água é um dos fatores que identificam a qualidade microbiológica da água.

TABELA 2 - PADRÃO DE TURBIDEZ PARA A ÁGUA PÓS-FILTRAÇÃO OU PRÉ-DESINFECÇÃO

Tipo de Tratamento	VMP (1)
Desinfecção (água subterrânea)	1,0 uT (2) em 95% das amostras
Filtração rápida	1,0 uT (2)
Filtração lenta	2,0 uT (2) em 95% das amostras

Fonte: Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

NOTAS: (1) Valor máximo permitido; (2) Unidades de Turbidez.

Os 5% dos valores para a turbidez que ultrapassarem os valores máximos permitidos, ficam limitados, para qualquer amostra e em qualquer ponto da rede de distribuição, ao valor máximo de 5,0 uT. Para a filtração lenta ou desinfecção, as amostras devem ser no mínimo diárias e para a filtração rápida no mínimo a cada quatro horas, de preferência em cada unidade individual de filtração.

Após a desinfecção ou filtração, a água deve conter no mínimo um residual de cloro livre de 0,5mg/ℓ para a água tratada e, em qualquer ponto da rede de distribuição, um teor mínimo de 0,2mg/ℓ. Para a aferição do teor de cloro residual livre, é recomendado que seja feita em pH inferior a 8,0 com tempo mínimo de contato de 30 minutos. É admitida a utilização de outro agente desinfetante ou condição de operação para a desinfecção desde que atenda os critérios exigidos.

A água também deve estar de acordo com o padrão de substâncias químicas conforme a TABELA 3 a seguir:

⁶ Unidades Formadoras de Colônia

TABELA 3 - PADRÃO DE POTABILIDADE PARA SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS QUE REPRESENTAM RISCO À SAÚDE

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP (1)
Inorgânicas		
Antimônio	mg / ℓ	0,005
Arsênio	mg / ℓ	0,01
Bário	mg / ℓ	0,7
Cádmio	mg / ℓ	0,005
Cianeto	mg / ℓ	0,07
Chumbo	mg / ℓ	0,01
Cobre	mg / ℓ	2
Cromo	mg / ℓ	0,05
Fluoreto	mg / ℓ	1,5
Mercúrio	mg / ℓ	0,001
Nitrato (como N)	mg / ℓ	10
Nitrito (como N)	mg / ℓ	1
Selênio	mg / ℓ	0,01
Orgânicas		
Acrilimida	μg / ℓ	0,5
Benzeno	μg / ℓ	5
Benzo [a] pireno	μg / ℓ	0,7
Cloreto de vinila	μg / ℓ	5
1,2 dicloroetano	μg / ℓ	10
1,1 dicloroetano	μg / ℓ	30
Diclorometano	μg / ℓ	20
Estireno	μg / ℓ	20
Tetracloroeto de carbono	μg / ℓ	2
Tetracloroetano	μg / ℓ	40
Triclorobenzenos	μg / ℓ	20
Tricloroetano	μg / ℓ	70
Agrotóxicos		
Alaclor	μg / ℓ	20
Aldrin e dieldrin	μg / ℓ	0,03
Atrazina	μg / ℓ	2
Benzatona	μg / ℓ	300
Clordano (isômeros)	μg / ℓ	0,2
2,4 D	μg / ℓ	30
DDT (isômeros)	μg / ℓ	2
Endossulfan	μg / ℓ	20
Endrin	μg / ℓ	0,6
Glifosato	μg / ℓ	500
Heptacloro e heptacloro epóxido	μg / ℓ	0,03

Hexaclorobenzeno	$\mu\text{g} / \ell$	1
Lindano (γ -HCH)	$\mu\text{g} / \ell$	2
Metolaclo	$\mu\text{g} / \ell$	10
Metoxicloro	$\mu\text{g} / \ell$	20
Molinato	$\mu\text{g} / \ell$	6
Pendimetalina	$\mu\text{g} / \ell$	20
Pentaclorofenol	$\mu\text{g} / \ell$	9
Permetrina	$\mu\text{g} / \ell$	20
Propanzil	$\mu\text{g} / \ell$	20
Simazina	$\mu\text{g} / \ell$	2
Trifluralina	$\mu\text{g} / \ell$	20
Cianotoxinas		
Microcistinas	$\mu\text{g} / \ell$	1,0
Desinfetantes e produtos secundários da desinfecção		
Bromato	mg / ℓ	0,025
Clorito	mg / ℓ	0,2
Cloro livre	mg / ℓ	5
Monocloramina	mg / ℓ	3
2,4,6 triclorofenol	mg / ℓ	0,2

Fonte: Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

NOTAS: (1) valor máximo permitido

A água potável também deve estar em conformidade com o padrão de radioatividade conforme segue:

TABELA 4 – PADRÃO DE RADIOATIVIDADE PARA A ÁGUA POTÁVEL

Parâmetro	Unidade	VMP (1)
Radioatividade alfa global	Bq / ℓ	0,1
Radioatividade beta global	Bq / ℓ	1,0

Fonte: Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

NOTAS: (1) valor máximo permitido

TABELA 5 - PADRÃO DE ACEITAÇÃO PARA CONSUMO HUMANO

Parâmetro	Unidade	VMP (1)
Alumínio	mg / ℓ	0,2
Amônia (como NH_3)	mg / ℓ	1,5
Cloreto	mg / ℓ	250
Cor aparente	UH (2)	15

Dureza	mg / ℓ	500
Etilbenzeno	mg / ℓ	0,2
Ferro	mg / ℓ	0,3
Manganês	mg / ℓ	0,1
Monoclorobenzeno	mg / ℓ	0,12
Odor	-	Não objetável (3)
Gosto	-	Não objetável (3)
Sódio	mg / ℓ	200
Sólidos dissolvidos totais	mg / ℓ	1000
Sulfato	mg / ℓ	250
Sulfeto de hidrogênio	mg / ℓ	0,05
Surfactantes	mg / ℓ	0,5
Tolueno	mg / ℓ	0,17
Turbidez	UT (4)	5
Zinco	mg / ℓ	5
xileno	mg / ℓ	0,3

Fonte: Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

NOTAS: (1) Valor máximo permitido; (2) unidade Hazen (mg PtCo/L); (3) critério de referencia; (4) unidade de turbidez

De acordo com a Portaria 518, também é recomendável que no sistema de distribuição, isto é, na rede, o valor do pH seja mantido entre 6,0 e 9,5. Já o teor de cloro residual livre em qualquer ponto da rede deve ser no máximo de 2,0mg/ℓ.

A OMS⁷ propõe metodologias em sua publicação *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management* que devem ser adotadas para análise das cianobactérias e cianotoxinas e comprovação de toxidades por bioensaios em camundongos, até que as especificações sejam estabelecidas em normas nacionais ou internacionais.

Todas as metodologias para as análises dos parâmetros físicos, químicos, biológicos, microbiológicos e de radioatividade constam na edição atualizada da *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* de autoria das instituições

⁷ Organização Mundial da Saúde

American Public Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF) e também constam nas normas publicadas pela ISO (International Standardization Organization).

Para o controle e vigilância da qualidade da água, as análises laboratoriais podem ser feitas em laboratórios apropriados ou que pelo menos mantenha o controle de qualidade interna ou externa ou então que possua certificado emitido por órgãos competentes pra essa finalidade.

O plano de amostragem deve ser elaborado e aprovado junto à autoridade de saúde pública pelos responsáveis pelo controle de qualidade da água (do sistema ou solução alternativa), sempre respeitando os valores mínimos de amostragem conforme consta na Portaria 518 do Ministério da Saúde:

TABELA 6 - NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS PARA O CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO, PARA FINS DE ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E DE RADIOATIVIDADE, EM FUNÇÃO DO PONTO DE AMOSTRAGEM, DA POPULAÇÃO ABASTECIDA E DO TIPO DE MANANCIAL.

Parâmetro	Tipo de manancial	Saída do Tratamento (número de amostras por unidade de tratamento)	Sistema de distribuição (reservatórios e rede)		
			População abastecida		
			< 50000 hab.	50000 a 250000 hab.	> 250000 hab.
Cor Turbidez pH	Superficial	1	10	1 para cada 5000 hab	40 + (1 para cada 25000 hab)
	Subterrâneo	1	5	1 para cada 10000 hab	20 + (1 para cada 50000 hab)
CRL (1)	Superficial	1	(Conforme § 3º do artigo 19)		
	Subterrâneo	1			
Fluoreto	Superficial ou subterrâneo	1	5	1 para cada 10000 hab	20 + (1 para cada 50000 hab)
Cianotoxinas	Superficial	1	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	1	1 (2)	4 (2)	4 (2)
	Subterrâneo	-	1 (2)	1 (2)	1 (2)
Demais parâmetros	Superficial ou subterrâneo	1	1 (4)	1 (4)	1 (4)

Fonte: Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

NOTAS: (1) Cloro residual livre; (2) as amostras devem ser coletadas, preferencialmente, em pontos de maior tempo de detenção da água no sistema de distribuição; (3) apenas será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radioativos quando da evidência de causas de radiação natural ou artificial; (4) dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e/ou no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

Quanto à frequência mínima de amostragem das características da água destinada para consumo humano consta na Portaria e deve obedecer aos critérios:

TABELA 7 - FREQUÊNCIA MÍNIMA DE AMOSTRAGEM PARA O CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO, PARA FINS DE ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E DE RADIOATIVIDADE, EM FUNÇÃO DO PONTO DE AMOSTRAGEM, DA POPULAÇÃO ABASTECIDA E DO TIPO DE MANANCIAL.

Parâmetro	Tipo de manancial	Saída do Tratamento (frequência por unidade de tratamento)	Sistema de distribuição (reservatórios e rede)		
			População abastecida		
			< 50000 hab.	50000 a 250000 hab.	> 250000 hab.
Cor Turbidez pH Fluoreto	Superficial	A cada 2 horas	Mensal	Mensal	Mensal
	Subterrâneo	Diária			
CRL (1)	Superficial	A cada 2 horas	(Conforme § 3º do artigo 19)		
	Subterrâneo	Diária			
Cianotoxinas	Superficial	Semanal	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
	Subterrâneo	-	Anual	Semestral	Semestral
Demais parâmetros	Superficial ou subterrâneo	Semanal	Semanal (3)	Semanal (3)	Semanal (3)

Fonte: Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

NOTAS: (1) cloro residual livre; (2) apenas será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radioativos quando da evidência de causas de radiação natural ou artificial; (3) dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e/ou no manancial, à exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

A amostragem das características da água destinada ao consumo humano deve atender alguns requisitos. Conforme consta na Portaria 518 do Ministério da Saúde, é necessário que a distribuição das coletas seja feita de maneira uniforme durante o período preservando todo comportamento das características. Devem ser analisados pontos

estratégicos como locais de alta circulação de pessoas, terminais rodoviários e terminais ferroviários, edifícios ocupados por grupos populacionais de risco ou localizados em trechos vulneráveis do sistema de distribuição, bem como locais em que ocorram notificações de agravos à saúde tendo como possível causa agente veiculado por água.

Quanto ao número mínimo de amostras coletadas na rede de distribuição, conforme tabela abaixo, não inclui re-coletas.

TABELA 8 - NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS MENSAIS PARA O CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE SISTEMA DE ABASTECIMENTO, PARA FINS DE ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS, EM FUNÇÃO DA POPULAÇÃO ABASTECIDA.

Parâmetro	Sistema de distribuição (reservatórios e rede)			
	População abastecida			
	<5000 hab.	5000 a 20000 hab.	20000 a 250000 hab.	>250000 hab.
Coliformes totais	10	1 para cada 500 hab.	30 + (1 para cada 2000 hab)	105 + (1 para cada 5000 hab) máximo de 1000

Fonte: Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

Nota: na saída de cada unidade de tratamento devem ser coletadas, no mínimo, duas amostras semanais, recomendando-se a coleta de, pelo menos, quatro amostras semanais.

No momento da coleta, em todas as amostras realizadas deve ser aferido o teor de cloro residual livre ou de outro composto residual ativo, caso o agente desinfetante utilizado não seja o cloro. Recomenda-se também a aferição da turbidez, em todas as amostras, para melhor avaliação da qualidade da água distribuída à população.

Os profissionais responsáveis pelo controle de qualidade da água de sistema e de fontes de abastecimento supridas por manancial superficial devem coletar semestralmente amostras de água bruta, no ponto de captação, e assim serem feitas as análises de compatibilidade entre características da água bruta e a metodologia de tratamento. Estas análises devem estar de acordo com os parâmetros exigidos na legislação vigente que classifica e enquadra as águas superficiais.

No ponto de captação no manancial, deve ser feito o monitoramento das cianobactérias com amostras mensais caso o número não exceder 10000 células/mℓ e, caso esse número exceder 10000 células/mℓ as amostras deverão ser semanais. Quando a densidade de cianobactérias exceder 20000 células/mℓ é vedado o uso de algicidas para combater ou controlar o desenvolvimento de cianobactérias, uma vez que qualquer

intervenção dessa natureza provoca a lise⁸ das células desses microorganismos, comprometendo a saúde devido às cianotoxinas.

Conforme consta nas diretrizes específicas elaboradas pelo Sistema Único de Saúde, as autoridades da saúde pública devem implementar um plano próprio de amostragem. As Normas estabelecem ainda que, para sistemas e soluções alternativas para abastecimento de água deve haver um responsável técnico habilitado para tais fins, e que toda água distribuída para o consumo humano deve ser submetida a processo de desinfecção, de tal forma a atender o padrão microbiológico contido nessa norma. Toda água destinada ao consumo humano, proveniente de manancial superficial deve ser distribuída por sistemas de canalização e, durante o tratamento, deve passar pelo processo de filtração. Também consta que, na rede de distribuição em toda sua extensão deve ser operada com pressão superior a pressão atmosférica.

O sistema de distribuição de água deve ser obrigatoriamente de uso exclusivo para este fim e o veículo utilizado para o transporte de água deve conter em sua estrutura, de forma visível, a inscrição: “água potável”. O responsável pelo sistema de fornecimento de água deve manter atualizados registros sobre a fonte da água e análises de controle de qualidade visando o monitoramento das características e acompanhamento durante todo o processo de produção de água potável.

2.1.5 – Parâmetros Estudados

No processo de tratamento da água potável são estudados vários parâmetros para o controle de qualidade, com o objetivo de ser obtido os índices que melhor se adaptem à nossa saúde. No presente estudo, trabalhou-se com a água tratada, ou seja, o produto final. A água tratada tem suas características de qualidade medidas e monitoradas por amostragem. Essas características são, nesse trabalho, tratadas como variáveis aleatórias. E, na realidade todas têm especificações para potabilidade, ou seja, limite inferior e limite superior ou apenas um dos limites. Assim, foram definidas especificações para: turbidez, pH, teor de Cloro, teor de Flúor e teor de Alumínio. A seguir são ressaltadas as principais características de cada componente, suas variações e influências diretas na saúde humana.

⁸ Bioquím. Ruptura ou dissolução de membrana plasmática ou de parede bacteriana, e que leva à morte da célula e à liberação de seu conteúdo.

2.1.5.1 – Parâmetro Turbidez

É um parâmetro físico da água que depende da quantidade de material ou partículas em suspensão na água. Pode ser generalizado quando os tamanhos das partículas ultrapassam o diâmetro de $1,2 \mu\text{m}$. A turbidez está relacionada com a quantidade (grau) de luz que passa através da água. A turbidez tem origem nos sólidos em suspensão podendo ser de origem natural, constituída de minerais de algas, e de origem antropogênica, causada por despejos domésticos, industriais e outros microorganismos. Apesar da turbidez de origem natural não representar riscos à saúde, o problema está em que estas substâncias em suspensão podem servir de abrigo para microorganismos patogênicos. Já a turbidez antropogênica pode ter relação com compostos tóxicos e microorganismos patogênicos. O aparelho utilizado para a medição da turbidez da água é o turbidímetro, podendo, em alguns casos, serem utilizados espectrofotômetros ou vela de Jackson, sendo que a unidade de medida é dada em UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez).

No Brasil, o valor máximo permitido pela Portaria 518/04 para a água tratada é de 1,0 UNT. Um valor máximo de 5 UNT é permitido em pontos da rede de distribuição, devido às possíveis contaminações durante o processo de transporte da água pela rede.

2.1.5.2 – Parâmetro pH

O pH é um parâmetro químico da água que representa a concentração de íon de hidrogênio. É universalmente utilizado para classificar uma condição ácida ou alcalina de uma solução, sendo sua escala dada em números que variam de 0 a 14, onde valores abaixo de 7 e mais próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto que valores acima de 7 indicam aumento de basicidade. A origem natural refere-se à dissolução das rochas, oxidação da matéria orgânica, fotossíntese das algas e adsorção de gases da atmosfera.

Sua origem antropogênica é devido aos despejos domésticos e industriais. Este parâmetro é de elevada importância nas fases do tratamento da água, uma vez que pode provocar corrosão ou incrustação em tubulações da rede de distribuição da água quando o pH é muito alto ou muito baixo, respectivamente. O condutivímetro é o aparelho para realizar tal medição sendo constituído de um eletrodo de vidro juntamente com soluções indicadoras.

De acordo com a Portaria 518/004 do Ministério da Saúde, o valor do pH da água no sistema de distribuição deve estar entre 6,0 e 9,5.

2.1.5.3 – Parâmetro Cloro

O cloro é utilizado durante o tratamento da água com o objetivo de destruir as bactérias e outros microorganismos que possivelmente estejam presentes na água. Na água tratada, a presença de cloro residual permanece ativa, protegendo, portanto, o usuário de uma eventual contaminação na rede. O cloro residual livre numa concentração de até 20mg/ℓ não transmite cor, odor ou sabor à água tratada. A sua eficiência é tal que reduz a quantidade de bactérias em 99% em 10 segundos após ser dosado na água, e, 99,99% em 20 segundos.

Em algumas Estações de Tratamento de Água (ETA's) é utilizado o gás cloro para a desinfecção da água. Devido seu alto poder de oxidação, há modificações nas características químicas da água através da remoção de compostos orgânicos e inorgânicos. O residual de cloro mínimo permitido, de acordo com a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde é de 0,2 mg/ℓ de cloro para a água tratada, e, no máximo, 5mg/ℓ.

2.1.5.4 – Parâmetro Flúor

O flúor também é um elemento químico adicionado à água potável durante o tratamento, com o objetivo de controlar ou prevenir as cáries dentárias. A quantidade de flúor presente na água tratada varia conforme a região, dependendo das condições climáticas, pois elas têm influencia direta no consumo médio diário de água por habitante. No caso da Sanepar, o limite varia de 0,7 a 0,9mg/ℓ para a água tratada e distribuída no Estado do Paraná. A Portaria 518/04 do Ministério da Saúde determina o valor máximo de 1,4 mg/ℓ, uma vez que a falta temporária ou algum nível muito baixo de flúor na água tratada não a tornam imprópria para o consumo humano, porém um valor acima do limite passa a ser prejudicial à saúde, causando fluorose dental e esquelética ocasionando a perda de resistência dos ossos e dentes. Vale salientar que o uso não racional de água potável, tais como: lavagem de automóveis, calçadas, irrigações e, até mesmo, em higiene pessoal causa desperdícios de flúor.

2.1.5.5 – Parâmetro Alumínio

O sulfato de alumínio é utilizado nos processos de coagulação, decantação e filtração para que se tenha uma melhor eficiência desses processos. Contudo, o uso do

alumínio é ajustado conforme a necessidade durante esses processos no tratamento, pois o alumínio é causador de um possível efeito neurotóxico, em longo prazo.

Logo, quanto menor o índice de alumínio presente na água tratada é melhor. De fato, a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde estabelece um valor máximo aceitável de 0,2 mg/ℓ de alumínio na água tratada.

2.2 – TÉCNICAS ESTATÍSTICAS DA QUALIDADE

2.2.1 – Aprimoramento da Qualidade

Quando se menciona o termo “melhoria da qualidade” fica associado que mudanças no processo ocorreram e se alcançou um melhor resultado, seja em termos de desempenho do produto, custo ou de adequação ao uso. Para a comprovação do aperfeiçoamento, há a necessidade da medição dos dados e comparação com resultados anteriores, pois caso não sejam comprovados desta maneira, a melhoria da qualidade passa a ser questionada.

Toda mudança no processo não está associada a uma melhoria do processo, uma vez que os resultados podem comprovar a inviabilidade ou perda de qualidade. Já toda melhoria de um processo está associada a uma mudança. As mudanças em um processo são de fato, as buscas crescentes para o aumento da qualidade. Ao serem analisados os resultados finais e for constatada a inviabilidade, é possível concluir que não houve melhora no processo. Consequentemente, os resultados indicam que o processo teve um rendimento reduzido em virtude de mudanças estabelecidas.

De acordo com CAMPOS (1992) a identificação dos fatores que representam o problema deve ser observada com cautela, de modo a distinguir a causa e o efeito no processo. O efeito é representado por perdas, as quais devem ser eliminadas ou reduzidas para que os resultados caracterizem um aumento na qualidade. Para isso, torna-se necessário um estudo adequado destas causas para que, através de procedimentos viáveis, o problema não se repita.

Desde os primórdios da humanidade, a qualidade é uma preocupação global, à medida que a humanidade principiou com a fabricação artesanal surgiu a necessidade de oferecer um produto ou serviço com qualidade para seus clientes, ou seja, com pouco ou nenhum defeito. A classificação de um produto em perfeito ou imperfeito é consequência

da comparação entre eles. Desse modo, o conceito de qualidade sempre esteve presente através da inspeção e verificação do produto final.

A qualidade tem sido aprimorada com o emprego de técnicas estatísticas e administrativas usadas para eliminar fontes de não conformidades. Na verdade, qualidade sempre existiu, mas à medida que são utilizadas várias estratégias de aperfeiçoamento do processo, ela se torna cada vez melhor.

A qualidade surge através de um processo lento e diferenciado, ou seja, à medida que se produz uma atividade nova que pode ser comparada com resultados anteriores pode correr uma solução aprimorada.

A inspeção tem sido uma das estratégias utilizadas para reforçar a garantia da qualidade, porém deve ser feita com base em amostras. O controle da qualidade é vital no gerenciamento de uma empresa, pois se trata de fator que conduz a um aumento na competitividade da empresa. Apesar da administração do setor de controle da qualidade ser responsável, a princípio, pela qualidade dos materiais que entram e os produtos que saem da empresa, a qualidade é responsabilidade de todos na empresa. A inspeção, considerada como o primeiro passo na busca do aprimoramento da qualidade, surgiu formalmente com o advento da produção em série. Outro ponto de partida para o aumento da eficiência e da produtividade baseia-se na divisão e especialização do trabalho, criando o processo de inspeção de forma isolada das demais atividades de produção. Com o crescente aumento na produção e exigência do consumidor, as empresas passaram a investir mais na qualidade, uma vez que se torna inviável investirem na inspeção em massa dos produtos.

O Controle Estatístico do Processo é um procedimento desenvolvido por Shewhart, na década de 1920, para facilitar a identificação das fontes de variabilidade anormal no processo. É constituído do controle, análise e correção das não conformidades (características fora dos limites de especificação). GARVIN (1992) diz que Shewhart criou técnicas simples para determinar os limites de variação aceitáveis, além dos métodos gráficos para representar valores de produção dentro ou não da faixa aceitável. Também afirma que a técnica desenvolvida por Shewhart, apesar de simples, trouxe uma contribuição expressiva para a melhoria dos processos em todas as fases da produção.

JURAN (1990) afirma que qualidade é a adequação ao uso. Ele mostra que qualidade vai além das técnicas estatísticas e das estratégias, visto que consiste em decisões políticas de funcionamento da organização. Logo, a qualidade impulsiona as

empresas a adotarem uma política de referência para a permanência no mercado e pode ser explicada como uma adequação de um produto ou serviço às exigências do consumidor.

FEIGENBAUM (1994) afirma que liderança na qualidade foi o fator essencial para se obter sucesso na década de 1990. A qualidade tornou-se a base da liderança nas pequenas, médias e grandes empresas. Em outras palavras, é uma estratégia fundamental para a competitividade atual. A qualidade passou a ser algo global, e como os consumidores tornaram-se mais exigentes as empresas passaram a depender do seu próprio desempenho. De fato, produtos e serviços consistentes e confiáveis implicam em menor perda de tempo e menor custo por re-trabalho e material. FEIGENBAUM (1994) cita a experiência da General Systems Company, a qual implementou sistemas de qualidade total em diversas empresas mundiais, apontando, pelos resultados, que essa é a melhor maneira para o retorno do investimento de uma empresa. A qualidade é vista como um modo de gerenciar organizações, uma vez que seu efeito está diretamente relacionado aos negócios, no gerenciamento e nas atividades técnicas. A consequência imediata é a satisfação dos clientes e menores custos.

JURAN (1993) afirma que no decorrer do século vinte, o crescimento nos bens e serviços no que diz respeito ao volume e à complexidade, aumentou demasiadamente. Surgiram grandes indústrias, com alto poder de produção e grande expectativa de permanência no mercado. Bens, tais como: carros, eletrodomésticos, celulares entre outros, estão cada dia mais complexos. Isso implica em uma maior adequação na questão qualidade. As concessionárias de serviço público, tais como companhias de saneamento e outras, não são menos exigidas.

Além das grandes indústrias, ocorreu um crescimento em volume e complexidade dos processos. Isso fica evidente nos sistemas de comunicação, transporte, processamento de informações entre outros. As exigências nesses sistemas em relação à qualidade estão sendo continuamente ampliadas no que diz respeito aos serviços, destacando significativamente a necessidade de melhoria no processo de produção.

O aumento significativo na produção de serviços e bens evidenciou a necessidade de métodos aprimorados para controlar a medição, especificação e registros das informações. Tem ficado cada vez mais claro que a estatística representa uma das técnicas mais utilizadas e aceitas pelas indústrias. Com a funcionalidade dos computadores modernos e equipamentos para o processamento de dados tem ocorrido um aumento do interesse e a facilidade do monitoramento em um processo de produção.

JURAN (1993) visa, em sua trilogia, o gerenciamento da qualidade através do uso dos três processos gerenciais que seguem:

1. Planejamento da qualidade: é a fase do desenvolvimento dos produtos e processos necessários objetivando atender o interesse e a necessidade do cliente. Esse processo é formado pelas etapas que seguem:
 - I. Identificação dos clientes;
 - II. Determinação das necessidades dos clientes;
 - III. Desenvolvimento de características nos produtos de tal maneira a atender as necessidades dos clientes;
 - IV. Desenvolvimento de procedimentos que possibilitem a performance de obter as tais características dos produtos;
 - V. Informação, à equipe, dos resultados do planejamento.
2. Controle da Qualidade: esta técnica é composta por três passos
 - I. Avaliação do desempenho real;
 - II. Comparação do desempenho real com as metas de qualidade;
 - III. Atuação nas diferenças.
3. Melhoramento da Qualidade: este processo consiste no aumento da qualidade através de inovações. A metodologia é composta pelas etapas:
 - I. Estabelecimento da infra-estrutura necessária para garantir o aprimoramento da qualidade;
 - II. Reconhecimento das exigências específicas para melhoramento;
 - III. Constituição de equipes de projeto, cada qual com o seu. As responsabilidades são estabelecidas para um projeto bem sucedido;
 - IV. Fornecimento de recurso, estímulo e capacitação da equipe estimulando a busca das possíveis soluções e estabelecimento de controles para manter os ganhos.

2.2.2 – Causas Aleatórias (Inerentes ao Processo) e Causas Especiais de Variação das Características dos Produtos

É conhecido que a variabilidade natural sempre existirá em um processo de produção, independente de quão bem planejado ou cuidadosamente mantido ele seja. Porém, o produto final deve se adequar às exigências do cliente, o que torna necessário que o processo de produção seja estável. Em outras palavras, um bom processo de produção, para um determinado produto e característica do produto, deve operar com pequena variabilidade em torno do alvo fixado no projeto do produto, uma vez que sempre haverá variabilidade, afetando assim a qualidade do produto.

As causas naturais de variação são conseqüências do acúmulo de vários fatores inobserváveis de ação muito pequena e, muitas vezes, inevitáveis. No sistema de controle estatístico, essa variabilidade natural ou “ruído de fundo” determina o “sistema estável de causas aleatórias”. Quando um processo opera sob influência apenas das “causas aleatórias da variação (inerentes ao processo)”, pode-se dizer que está sob controle estatístico.

Há outros tipos de variabilidade que podem ter como fontes: mão-de-obra, máquinas, meio ambiente, matéria-prima, método de trabalho e meios de medição. A variação decorrente destas causas identificáveis é grande quando comparada com as causas naturais ou aleatórias. Usualmente definem-se níveis aceitáveis desta variação, de modo a classificar um produto como aceitável ou não-aceitável. No sistema de controle estatístico, essas fontes de variabilidade são denominadas “causas especiais de variação”.

A Figura 1 ilustra o comportamento da variabilidade em função das causas aleatórias e atributáveis (especiais), tendo como referências LIE (limite inferior de especificação), μ_0 (valor alvo) e LSE (limite superior de especificação) e informa que, no instante t_1 , a média e o desvio padrão do processo são μ_0 e σ_0 respectivamente. Até o instante t_1 , o processo encontra-se sob controle estatístico, atuando sobre ele apenas as causas aleatórias ou naturais. No instante t_1 é observado que a média se desloca para $\mu_1 > \mu_0$ tornando o processo instável devido à presença das causas especiais de variação. Já no instante t_2 o processo possui média μ_0 , porém o seu desvio padrão é maior, ou seja, $\sigma_1 > \sigma_0$. Isso indica que em t_2 também está sob o efeito das causas especiais de variação. Em t_3 , além do deslocamento da média $\mu_2 < \mu_0$ observa-se o aumento do desvio padrão em virtude da atuação das causas especiais de variação. Em resumo, a partir do instante t_1 há presença das causas especiais resultando em um processo fora de controle estatístico.

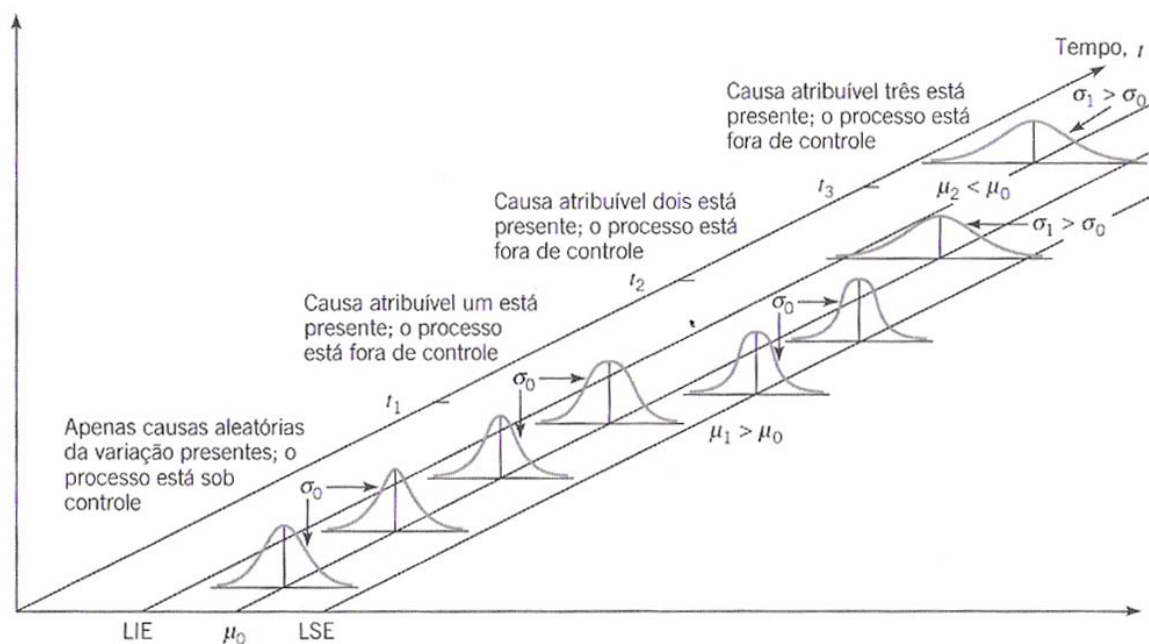


FIGURA 1 - CAUSAS ALEATÓRIAS OU INERENTES AO PROCESSO E CAUSAS ESPECIAIS ATUANDO NO PROCESSO.

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

O Controle Estatístico do Processo tem como objetivo principal detectar, de forma eficiente, a ocorrência das causas especiais que ocasionam mudanças no comportamento durante o processo de produção (on-line). Dessa forma, a investigação do processo e a ação corretiva podem ser realizadas a tempo, evitando que unidades com não-conformidades sejam produzidas em maiores quantidades e, principalmente, comercializadas.

2.2.3 – Principais Ferramentas do CEP

Conforme Montgomery, o CEP visa a estabilidade do processo em função da redução da variabilidade e conseqüente aumento da capacidade na produção. As principais ferramentas que serão apresentadas representam grande parte do potencial do CEP, uma vez que englobam apenas seus aspectos técnicos.

O CEP difunde o conceito de melhoria continuada na qualidade e na produtividade em uma empresa, onde todos os indivíduos farão parte deste ambiente. Uma vez que esse ambiente utilize as ferramentas do CEP rotineiramente, a empresa organiza-se de tal forma a buscar o objetivo de melhoria na qualidade.

2.2.3.1 – Cartas de Controle

As cartas de controle constituem uma forma de monitoramento contínuo da variabilidade das variáveis em um processo de produção. Já foi citado que os conceitos iniciais das cartas de controle foram estabelecidos em por Shewhart (1924), e, após variações nos modelos, mas mantendo o seu princípio, vêm sendo até hoje chamados de “cartas de controle de Shewhart”.

As cartas de controle são utilizadas para a melhoria do processo, uma vez que a maioria dos processos não opera no estado definido como “em controle estatístico”. Portanto, essa ferramenta visa detectar variações anormais e possibilitar a administração do processo identificar as fontes dessa anormalidade, ou seja, as causas especiais (ou fatores particulares). Através da identificação destas causas, a ação da administração é estudar formas para eliminá-las, atacando sua origem, evitando a reincidência da causa, sendo as ações corretivas um forte componente para o bom desempenho do CEP. Assim, o processo só tende a melhorar.

A elaboração das cartas de controle é feita com a fixação dos limites de controle e da linha central. Entre os limites e variando em torno da linha central deverão ser marcados os pontos amostrais do monitoramento da variável. Dentro desses limites a posição dos pontos se comporta como um ruído aleatório causado apenas pela variação inerente ao processo e nesse caso o processo está no estado “sob controle”. Essa é a variabilidade dos pontos que representa o comportamento de uma variável, em um determinado processo de produção. Quando o processo se encontra sob controle estatístico esses pontos situam-se dentro dos limites de máximo e mínimo permitido, não sendo necessário qualquer tipo de ação. Tal situação pode ser observada pela Figura 2.

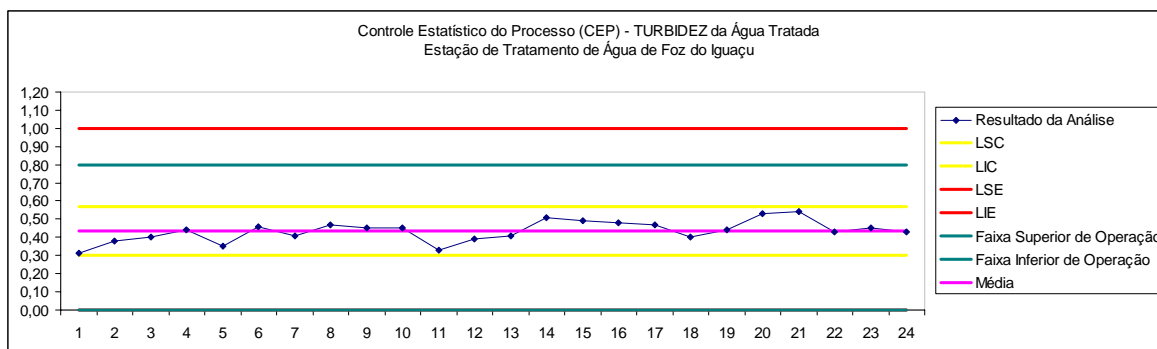


FIGURA 2 - CARTA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA DO DIA 30 DE DEZEMBRO DE 2006

Fonte: O Autor

De acordo com as informações do gráfico da Figura 2, é possível afirmar que o processo esteve sob controle durante o decorrer do dia 30, não havendo resultado das análises fora dos limites.

Todavia, se algum ponto situar-se fora dos limites, o processo não mais atua sob controle estatístico, sendo necessárias ações corretivas para localizar e suprimir a causa que determinou este tipo de comportamento. Porém, nem todo processo em que os pontos situam-se entre os limites podem estar sob controle estatístico, ou seja, um comportamento sistemático ou não aleatório acima da linha central, por exemplo, indica que algo não está certo, conforme ilustrado na Figura 3.

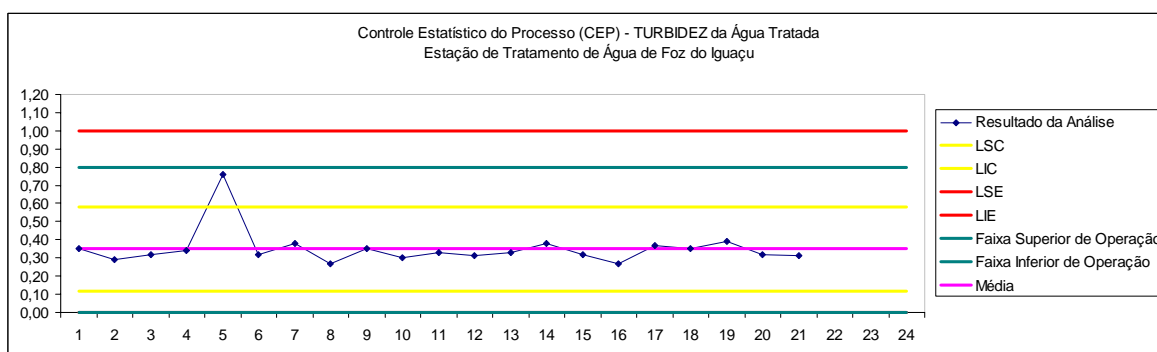


FIGURA 3 - CARTA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA DO DIA 04 DE DEZEMBRO DE 2006

Fonte: O Autor

É possível afirmar que houve, na 5ª amostra, algum fator externo que ocasionasse um aumento de turbidez no dia 4 de dezembro de 2006, o que pode ser confirmado pelo gráfico da Figura 3.

Há uma grande analogia entre cartas de controle e testes de hipótese. É possível imaginar a situação em que a linha central da carta de controle represente a média do processo \bar{x} . Se o valor de \bar{x} for igual ao valor nominal especificado (alvo), T, para a característica controlada ou situar-se entre os limites de controle significa que o processo está sob controle estatístico. Já se em algum ponto a média amostral plotada \bar{x} ultrapassar algum dos limites de controle, o processo não estará sob controle estatístico e algum fator particular está causando essa variação anormal. A semelhança está no fato de que um ponto situado entre os limites de controle, na carta, é equivalente a não rejeição da hipótese da média do processo ser igual ao valor fixado na linha central (suposto μ_0 ou T), ou seja, $H_0: \mu_0 = T$ controle estatístico, enquanto que um ponto fora dos limites de controle equivale à rejeição da hipótese do controle estatístico. Vale salientar que também existem diferenças entre ambos os conceitos, já que os testes de hipóteses verificam a validade das suposições, ao passo que as cartas de controle detectam as variações ou afastamentos de uma certa estatística.

Conforme MONTGOMERY (2004) deve-se utilizar as cartas de controle como uma ferramenta de estimação de parâmetros como a média, desvio padrão, fração de não-conformes, entre outros. Tais estudos proporcionam, de fato, a informação de que a capacidade em produzir produtos conformes, ou aceitáveis, influencia na decisão da gerência nas decisões de comprar e vender, melhoria das instalações e redução da variabilidade no produto final, atendendo as exigências dos clientes.

As Cartas de Controle tornaram-se populares ao longo do tempo e, principalmente, após serem utilizadas por empresas japonesas. Uma vez que mostraram ser uma técnica muito útil no aumento da produtividade, um programa eficiente de aplicação das cartas de controle reduz a sucata e o re-trabalho. Esses são os empecilhos de maior relevância na produtividade em uma operação qualquer. Quando a sucata e o re-trabalho diminuem significativamente, há aumento na produtividade, queda no custo e crescimento na capacidade de produção. As cartas de controle também são eficazes na prevenção de defeitos em virtude de se manter o processo sob controle, que está relacionado com a filosofia “faça certo da primeira vez”. De forma alguma não se torna mais barato, ao final do processo de produção, separar as unidades boas das unidades ruins, mas sim fazer corretamente no princípio. Quando o processo não está sob controle, o operador é pago para fabricar um produto fora das especificações.

Vale salientar ainda que as cartas de controle são a ferramenta que faz a distinção entre uma variação anormal e um ruído inerente ao processo. Isto nenhum operador é capaz de distinguir. Portanto, sem o uso das cartas de controle, serão feitos ajustes inadequados que podem ocasionar diminuição do desempenho do processo. Este fato está de acordo com a filosofia “se não está quebrado, não conserte”. Além disso, o padrão de pontos em uma carta de controle contém informações úteis no diagnóstico para um operador experiente. E, através do resultado das cartas de controle é possível estimar a capacidade do processo, informação essa que melhora o planejamento do produto e do processo. Conforme MONTGOMERY (2004) as cartas de controle estão entre as mais robustas ferramentas de controle e gerenciamento de processos e quando associadas à tecnologia computacional tem seu uso facilitado trazendo resultados em tempo real.

As cartas de controle são classificadas em dois tipos: cartas de controle para variáveis e cartas de controle para atributos. As cartas de controle para variáveis expressam o estudo da característica qualidade numericamente, seja através da média, amplitude ou desvio padrão, enquanto as cartas de controle para atributos classificam o produto como conforme ou não conforme. No presente trabalho utilizou-se as cartas de controle para variáveis, uma vez que as características em estudo são todas variáveis aleatórias contínuas, ou melhor, medidas físicas.

2.2.3.1.1- Carta da Média \bar{x}

A carta de controle para variáveis mais amplamente utilizada é a da média \bar{x} . Seja a média amostral \bar{x} que estima a verdadeira média do processo μ com base em uma amostra de tamanho n , $[x_1, x_2, \dots, x_n]$,

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (2.1)$$

Se a variável amostrada é Gaussiana, ou seja, $X_i \sim N(\mu, \sigma^2)$, então \bar{x} é normalmente distribuída com média μ e desvio padrão $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ (erro padrão). Há também a probabilidade $1 - \alpha$ de uma média amostral cair entre os valores:

$$\mu - Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{e} \quad \mu + Z_{\alpha/2} \sigma_{\bar{x}} = \mu + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.2)$$

Assim, é assumido que a característica de qualidade tem distribuição Gaussiana e o valor do escore padronizado $Z_{\alpha/2}$ é substituído por 3, de maneira que tem-se os limites a três desvios padrões, ou seja, a 3 sigmas. E, ainda, a chance de uma média amostral situar-se entre esses valores limites é de 99,73%. Como na prática não se conhecem os valores dos parâmetros μ e σ , usa-se suas estimativas obtidas de amostras retiradas do processo quando ele é considerado sob controle. Estas estimativas iniciais no planejamento da carta devem ser baseadas em 20 ou 25 amostras, segundo MONTGOMERY (2004). Sendo $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$ as médias obtidas de m amostras de tamanho n, tem-se que o melhor estimador da média μ do processo, é a média geral, ou seja:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (2.3)$$

Portanto, $\bar{\bar{x}}$ deve ser considerado como o valor da linha central (LC) da carta. E, os limites de controle são:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \\ LC &= \bar{\bar{x}} \\ LIC &= \bar{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Pode-se estimar $\sigma_{\bar{x}}$ através das amplitudes das m amostras. É bem conhecido que a amplitude de uma amostra é a diferença entre o maior e o menor valor da amostra. Assim, tem-se:

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (2.5)$$

Agora, seja R_1, R_2, \dots, R_m as amplitudes das m amostras e a amplitude média é dada por:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad (2.6)$$

Conforme MONTGOMERY (2004), os limites de controle para a carta \bar{x} ficam determinados por:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \\ LC &= \bar{\bar{x}} \\ LIC &= \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \end{aligned} \quad (2.7)$$

O valor da constante A_2 vai depender do tamanho da amostra (ver Anexo I)

Para deduzir as equações de cálculo dos limites de controle da carta \bar{x} utiliza-se a amplitude relativa $W = \frac{R}{\sigma}$. A média de W é definida por um valor conhecido como d_2 , que depende do tamanho da amostra n . Portanto, outro estimador de σ pode ser definido por $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$. Tem-se então:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{x} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}} \\ LC &= \bar{x} \\ LSC &= \bar{x} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}, \end{aligned} \quad (2.8)$$

com d_2 sendo a média das amplitudes relativas.

2.2.3.1.2- Carta da Amplitude R

Conforme MONTGOMERY (2004), os Limites de Controle para a carta R são:

$$\begin{aligned} LSC &= D_4 \bar{R} \\ LC &= \bar{R} \\ LIC &= D_3 \bar{R} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Os valores para as constantes D_3 e D_4 vão depender do tamanho da amostra (ver Anexo I). E, considerando a característica da qualidade normalmente distribuída, é possível estimar σ a partir da amplitude relativa $W = \frac{R}{\sigma}$. O desvio padrão de W , chamado de d_3 , é uma

função conhecida de n . Tem-se que:

$$R = w \cdot \sigma$$

Como o desvio padrão de R é $\sigma_R = d_3 \sigma$ e σ é desconhecido, estima-se σ_R por:

$$\sigma_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}, \text{ com } d_2 \text{ sendo a média das amplitudes relativas.}$$

Conseqüentemente, os parâmetros do gráfico da dispersão R, com limites de três sigmas são:

$$LSC = \bar{R} + 3\sigma_R = \bar{R} + 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$LC = \bar{R} \quad (2.10)$$

$$LIC = \bar{R} - 3\sigma_R = \bar{R} - 3d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\text{Com } D_3 = 1 - 3\frac{d_3}{d_2} \text{ e } D_4 = 1 + 3\frac{d_3}{d_2}$$

As cartas \bar{x} e R apontam se o processo está sob controle estatístico e isto se dá caso todas as estatísticas plotadas estejam situadas dentro dos limites de controle e não ocorrer nenhum comportamento sistemático.

2.2.3.1.3 – Carta de Controle para Medidas Individuais

Em diversas situações de produção a carta de controle para medidas individuais é necessária. Neste caso o tamanho da amostra n é igual a 1, ou seja, uma única unidade individual é amostrada. Por exemplo, em processos de fabricação onde um parâmetro difere muito pouco e produz um desvio padrão muito pequeno, como fabricação de papel e produção de água potável, a utilização desta ferramenta é interessante e em outras situações em que a produção é lenta.

Nas aplicações da carta de controle para medidas individuais utiliza-se a amplitude móvel $MR_i = |x_i - x_{i-1}|$ entre duas observações consecutivas. Dessa forma o estimador de σ é $\frac{\overline{MR}}{d_2}$, onde \overline{MR} é a média das amplitudes móveis entre duas observações consecutivas. Os parâmetros para a construção dessa carta são:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{x} + 3\frac{\overline{MR}}{d_2} \\ LC &= \bar{x} \\ LIC &= \bar{x} - 3\frac{\overline{MR}}{d_2} \end{aligned} \quad (2.11)$$

O valor de $d_2 = 1,128$ é tabelado e é utilizado quando a amplitude móvel de $n = 2$ observações é usada.

Algumas observações devem ser tomadas ao interpretar padrões no gráfico das amplitudes móveis. Segundo MONTGOMERY (2004), as amplitudes móveis são correlacionadas podendo induzir padrão de seqüências na carta e conseqüentes erros de

interpretação. Para tanto, o autor observa que se deve desconsiderar a existência de correlação entre as amplitudes, porém qualquer padrão que a carta apresente deve ser analisado cuidadosamente.

2.2.3.1.4 – Carta de Controle \bar{x} e S com Tamanho de Amostra Variável.

Muitas vezes, em um processo de produção, o número de amostras de uma determinada característica tem seu comportamento variado, influenciado por alguma variação climática, por exemplo, ou até mesmo pela falta de material implicando na queda parcial ou total da produção num determinado dia. Torna-se útil uma ferramenta de fácil aplicação e que tolere essa variação no número de amostras em um período. As cartas de controle \bar{x} e s para tamanho de amostra variável são indicadas nessa situação. Aplicando-se a média ponderada no cálculo de \bar{x} e de \bar{S} . Seja n_i o número de observações na i-ésima amostra, basta usarmos:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^m n_i} \quad (2.12)$$

e

$$\bar{S} = \left[\frac{\sum_{i=1}^m (n_i - 1) s_i^2}{\sum_{i=1}^m n_i - m} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

com linhas centrais \bar{x} e S respectivamente.

Os parâmetros para a Carta \bar{x} , segundo MONTGOMERY (2004) são:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{x} + A_3 \bar{S} \\ LC &= \bar{x} \\ LIC &= \bar{x} - A_3 \bar{S} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Os parâmetros da Carta S são:

$$\begin{aligned} LSC &= B_4 S \\ LC &= \bar{\bar{x}} \\ LIC &= B_3 S \end{aligned} \quad (2.15)$$

E todas as constantes A_3 , B_3 e B_4 vão depender do tamanho da amostra usada em cada subgrupo individual (ver Anexo I).

2.2.3.1.5 – Carta de Controle para Fração de Não-Conformes ou Carta p

Em um processo de produção, a característica avaliada pode ter distribuição Bernoulli. Desta forma a característica atende ou não a certa exigência. Produzir um item que não atenda um padrão em uma ou mais características da qualidade resulta em uma não-conformidade. A fração de não-conformes é dada pela razão de itens não-conformes em uma população e o total de itens desta população, e seu resultado é expresso em porcentagem. De forma análoga, a fração de itens conformes é obtida pelo quociente de itens conformes da população e o total de itens desta população. Pode-se considerar que o processo de produção esteja operando sob controle, de tal forma que a probabilidade de que um item não esteja de acordo com as especificações seja p , e que as unidades produzidas posteriormente e anteriormente sejam independentes. Então, cada unidade produzida é uma situação de uma variável aleatória de Bernoulli com parâmetro p . Se D for o número de itens não-conformes em uma população, é conhecido que a média e a variância da variável aleatória são dadas por np e $np(1-p)$. A fração de itens não conformes, em uma amostra aleatória, é dada por:

$$\hat{p} = \frac{D}{n} \quad (2.16)$$

A média e a variância da variável aleatória \hat{p} são dadas por:

$$\mu = E(\hat{p}) = p$$

e

$$\sigma_{\hat{p}} = \sqrt{V(\hat{p})} = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (2.17)$$

Desta forma, os limites de controle para a fração de não-conformes são dados por:

$$\begin{aligned} LSC &= p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \\ LC &= p \\ LIC &= p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \end{aligned} \quad (2.18)$$

Enquanto \hat{p} estiver entre os limites de controle e a sequência de pontos plotados não seguirem um padrão não-aleatório sistemático pode-se dizer que o processo está sob controle ao nível p .

Quando a fração de itens não conformes não é conhecida, pode-se estimá-la a partir dos dados observados usando m amostras de tamanho n e determinando-se o número de não-conformes D_i em cada uma das m amostras. Assim, tem-se:

$$\hat{p}_i = \frac{D_i}{n} \quad \text{com } i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.19)$$

A média das frações de não-conformes para as amostras individuais é:

$$\hat{p} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{mn} = \frac{\sum_{i=1}^m \hat{p}_i}{m} \quad (2.20)$$

Assim, a estatística \hat{p} (média das m amostras) estima a fração de itens não-conformes p . Portanto, os limites de controle da Carta p , de acordo com MONTGOMERY (2004) são:

$$\begin{aligned} LSC &= \hat{p} + 3\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \\ LC &= \hat{p} \\ LIC &= \hat{p} - 3\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \end{aligned} \quad (2.21)$$

2.2.3.1.6 – Carta de Controle np

A Carta de controle np monitora o número de itens não conformes do processo, e seus limites são obtidos multiplicando-se os limites da carta p por n . Assim, tem-se.

$$\begin{aligned}
 LSC &= np + 3\sqrt{np(1-p)} \\
 \text{Linha Central} &= np \\
 LIC &= np - 3\sqrt{np(1-p)}
 \end{aligned}
 \tag{2.22}$$

Caso o valor de p não seja conhecido, este pode ser estimado por \hat{p} . A Carta np , segundo Montgomery (2004, pg 187), é de mais fácil interpretação, quando os operadores não possuírem treinamento estatístico, do que a carta p .

2.2.3.1.7 – Carta de Controle c

Em algumas situações a unidade de inspeção será uma unidade do produto ou um conjunto de unidades produzidas. Tal unidade de produto poderá conter mais de um defeito, classificando-a como não-conforme. Assim, a unidade de produto (ou de inspeção) poderá ter um, dois, três, etc. não-conformidades. E, essas não conformidades ocorrem na unidade de inspeção, geralmente, de acordo com a distribuição de Poisson. Seja a variável aleatória X que conta o número de não-conformidades, então, tem-se: $X \sim P(c)$, ou seja, X têm a seguinte função de probabilidade:

$$p(x) = \frac{e^{-c} c^x}{x!} \tag{2.23}$$

com $c > 0$, $x = 0, 1, 2, \dots$

O parâmetro da distribuição de Poisson é c . Como a média e a variância dessa variável aleatória são, ambas, iguais ao parâmetro c , os limites da Carta de Controle C são:

$$\begin{aligned}
 LSC &= c + 3\sqrt{c} \\
 LC &= c \\
 LIC &= c - 3\sqrt{c}
 \end{aligned}
 \tag{2.24}$$

Uma vez que c seja desconhecido, pode-se estimá-lo através da média amostral

\hat{c} , dada por $\hat{c} = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{c}_i}{n}$, onde \hat{c}_i é o número de não-conformidades presente na unidade do produto (ou de inspeção) i , $i = 1, 2, \dots, n$.

$$\begin{aligned}
LSC &= \hat{c} + 3\sqrt{\hat{c}} \\
LC &= \hat{c} \\
LIC &= \hat{c} - 3\sqrt{\hat{c}}
\end{aligned} \tag{2.25}$$

A aplicação dessa Carta de Controle C é, geralmente, em processos de produção contínua, tais como produção de papel, tecidos, etc., onde é mais apropriado à contagem do número de defeitos por unidade de produto ou de inspeção.

2.2.3.1.8 – Carta de Controle U

É possível trabalhar-se com o número médio de defeitos por unidade de inspeção. Se Y é o número de defeitos presentes em n unidades de inspeção amostradas, então o número médio de defeitos por unidade é:

$$U = \frac{Y}{n} \sim P(nc)$$

Conseqüentemente os parâmetros da v.a. U são:

$$\begin{aligned}
\mu &= E(U) = E\left(\frac{Y}{n}\right) = \frac{1}{n} E(Y) = n \frac{c}{n} = c \\
\sigma^2 &= V(U) = V\left(\frac{Y}{n}\right) = \frac{1}{n^2} V(Y) = n \frac{c}{n^2} = \frac{c}{n}
\end{aligned}$$

E, o estimador do parâmetro é

$$\hat{c} = \bar{u} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m u_i \text{ (média do número médio por unidade em m amostras tamanho n).}$$

Então, os limites são:

$$\begin{aligned}
LIC &= \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \\
LSC &= \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}
\end{aligned} \tag{2.26}$$

e a linha de centro é fixada em: $LC = \bar{u}$

A Carta de Controle construída desta forma é chamada de Carta do Número de Defeitos por Unidade e denotada por Carta U.

2.2.3.2 – Distribuição de Frequências, Histograma e Gaussianidade

A distribuição de frequências consiste em ordenar os dados por grandeza, e é responsável por evidenciar qualquer padrão de variabilidade ou estrutura dos dados. O gráfico da distribuição de frequências é uma representação visual dos valores que comprova, em uma amostra, a sua forma, tendência central ou dispersão. Quando os dados são numerosos, são agrupados em classes de tal forma a condensar os dados originais. Assim, a construção do histograma, feito a partir da distribuição de frequência dos dados não agrupados, pode ser elaborada com maior clareza.

Na tabela abaixo, encontram-se os valores da turbidez média diária da água do Município de Foz do Iguaçu, Paraná, durante o mês de janeiro de 2004. Os valores dispostos em colunas são:

TABELA 9 - VALORES PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA EM JANEIRO DE 2004 - FOZ DO IGUAÇU

0,54	0,50	0,67	0,61	0,58	0,65	0,55
0,72	0,56	0,51	0,64	0,67	0,59	
0,68	0,49	0,53	0,67	0,50	0,58	
0,64	0,46	0,62	0,63	0,60	0,56	
0,65	0,61	0,43	0,66	0,69	0,63	

Fonte: Sanepar

A Figura 4 mostra o histograma dos dados da variável turbidez com ajuste da Curva Normal de Probabilidade.

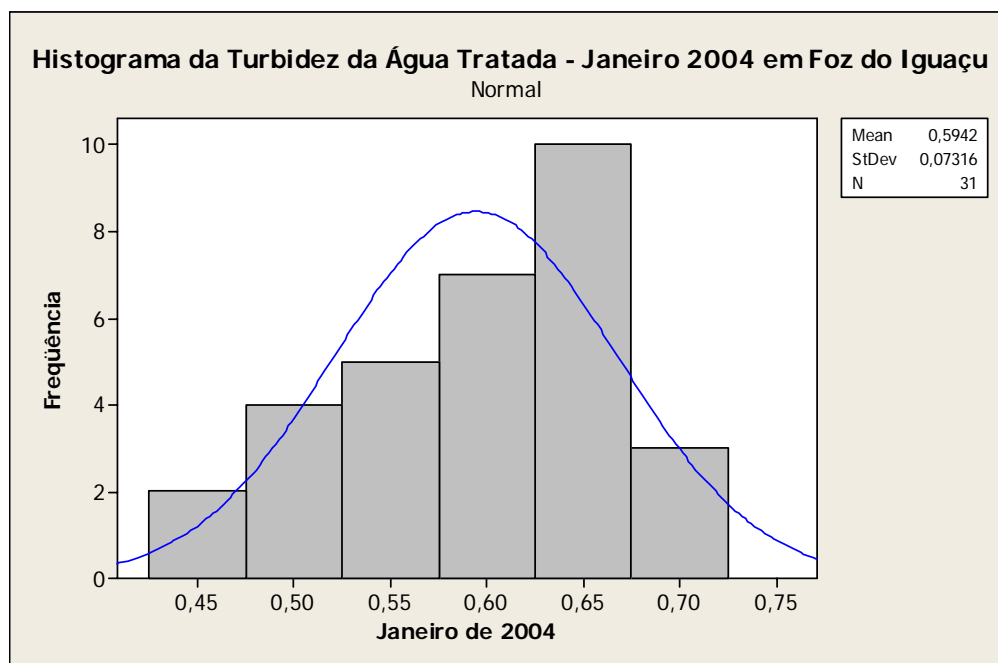


FIGURA 4 - HISTOGRAMA DA TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA NO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU NO MÊS DE JANEIRO DE 2004.

Fonte: O autor

Nota-se que a média amostral

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{31} x_i}{n} = \frac{18,4200}{31} \cong 0,594$$

é o ponto onde o histograma se “equilibra”. Logo, a média amostral refere-se ao centro de massa dos dados da amostra. Já a variância $s^2 = 0,00535$ refere-se a variabilidade dos dados amostrais e é calculada como a soma dos quadrados dos desvios de cada observação em relação a média amostral \bar{x} , dividida pelo número de amostras subtraída de uma unidade. A unidade da variância é o quadrado da variável original, então é mais cômodo utilizar o desvio padrão, que é a raiz quadrada de s^2 e, portanto, tem mesma unidade de medida dos dados originais. E, ainda, o desvio padrão reflete a dispersão em torno da média da mesma forma que a variância.

2.2.3.3 - Folha de Controle ou de Verificação

A folha de controle aponta em um período os diversos tipos de defeitos que ocorreram no processo de produção, e em consequência, torna-se valiosa na observação de tendências ou outros padrões não aleatórios. Se muitas variações no tratamento da água ocorrem em determinada época do ano, como por exemplo, no verão, uma possível causa que pode ser investigada é o uso de trabalhadores temporários no período de férias dos funcionários efetivos ou até mesmo a influência da temperatura durante as fases do tratamento da água nas ETA's⁹.

O planejamento de uma folha de controle deve levar em conta as especificações de dados a serem coletados, a data da coleta, o analista, número da operação, e quaisquer outras informações que possam ser úteis em diagnosticar o baixo desempenho.

De acordo com dados históricos, é possível criar a folha de controle através da contagem de cada ocorrência e discriminá-las como segue:

TABELA 10 - FOLHA DE CONTROLE PARA REGISTRAR AS NÃO-CONFORMIDADES DURANTE O PROCESSO DE TRATAMENTO DA ÁGUA. DADOS FICTÍCIOS.

Ocorrência	2004 (em trimestres)				2005 (em trimestres)				Total
	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º	
Manuseio de Materiais	2	3	7	4	3	2	4	3	28
Variação da Temperatura Ambiente	2	2	4	5	2	3	4	1	23
Muita Atividade	2	1	2	4	1	2	2	3	17
Transporte Inadequado	1	0	3	2	0	3	2	1	12
Lote do Produto Químico	1	1	0	1	2	1	0	3	9
Treinamento Insuficiente	1	2	0	1	2	1	1	0	8
Especificações Incorretas	1	1	1	1	0	1	1	1	7
Inspetores Não Atendem Especificações	1	0	1	1	0	1	1	1	6
Atitudes Impróprias	0	1	1	0	1	1	0	1	5
Planejamento	0	0	2	0	0	1	1	0	4
Supervisão Inadequada	0	0	1	0	1	0	0	1	3

Fonte: Montgomery (2004) adaptado

⁹ Estações de Tratamento de Água

2.2.3.4 – Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto ou Carta de Pareto é o gráfico da distribuição de frequência acumulada dos diversos tipos de não conformidades registradas na folha de controle. O diagrama de Pareto mostra os defeitos que ocorrem em maior frequência. A seguir tem-se um diagrama de Pareto correspondente a dados da estação de tratamento em estudo.

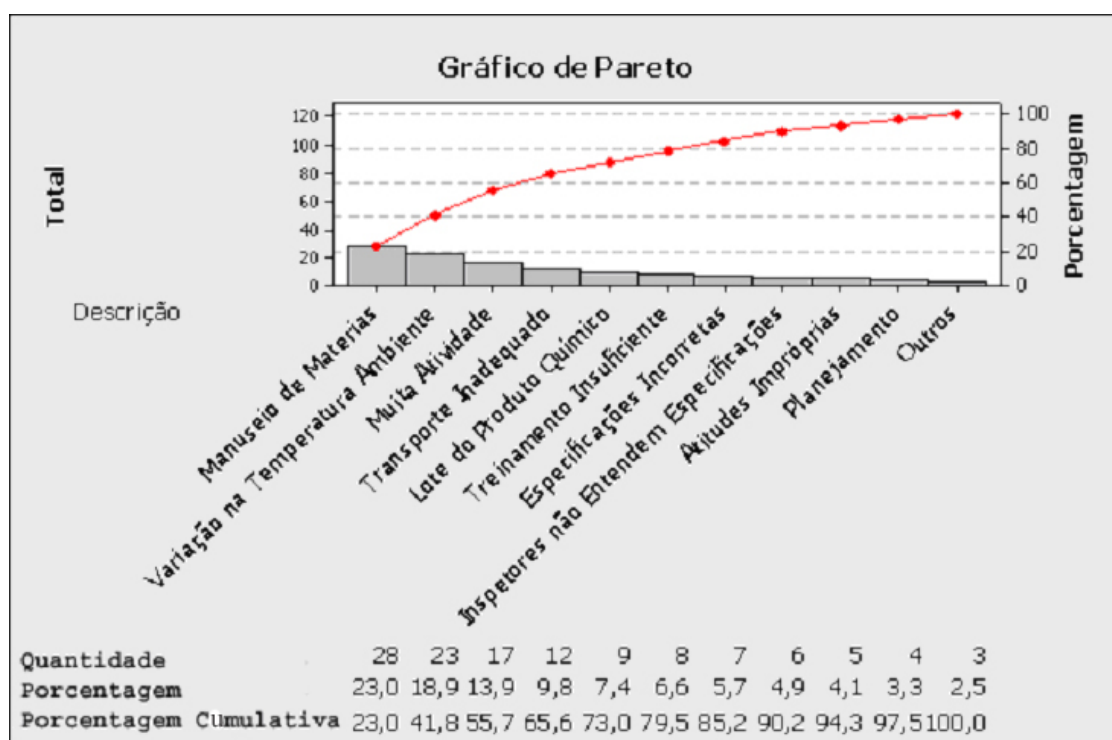


FIGURA 5 - GRÁFICO DE PARETO PARA OS DADOS DA ÁGUA DE BAIXA QUALIDADE
Fonte: O autor

Através deste gráfico é possível visualizar rapidamente os tipos de defeitos que ocorrem com maior frequência. O gráfico aponta o caso do manuseio de materiais e variação na temperatura ambiente como as causas de defeitos mais frequentes. Dessa maneira, deve-se agir no sentido de eliminar esses defeitos. Esse gráfico deve ser apresentado e discutido em reuniões conhecidas como *brainstorm*, onde se buscam sugestões para se eliminar o problema.

O Diagrama de Pareto é uma das ferramentas mais utilizadas dentre todas do CEP, na busca da melhoria da qualidade. É limitada somente pela capacidade do analista.

2.2.3.5 – Diagrama de Causa-e-Efeito

O Diagrama de Causa-e-Efeito é freqüentemente utilizado para a melhoria da qualidade e busca identificar possíveis áreas problemáticas em um processo de produção. Para a construção deste diagrama, primeiramente é necessário determinar o problema ou efeito a ser estudado. Em seguida, formam-se as equipes para a realização da análise e descobrir as causas potenciais.

A variação nas características de qualidade dos bens ou serviços é explicada por dois tipos de causas:

- Causas comuns ou inerentes ao processo de produção e que são geradas por fatores não identificáveis em um primeiro momento.
- Causas especiais, geradas por fatores identificáveis.

As causas especiais são oriundas de pelo menos um dos seis fatores particulares: matéria prima, mão de obra, método de trabalho, meios de medição, meio ambiente e máquinas. Esses fatores compõem as partes do Diagrama de Causa-e-Efeito. A Figura 7, adiante, mostra esquematicamente este gráfico.

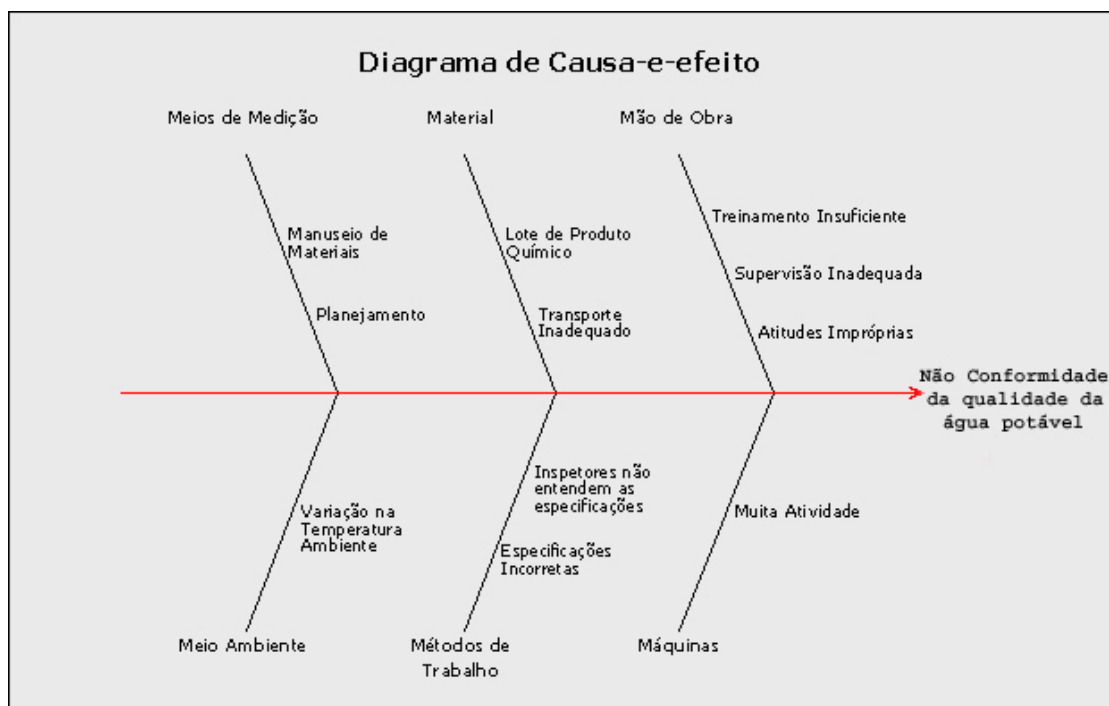


FIGURA 6 - DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO
Fonte: MONTGOMERY 2004 (Adaptado).

Cada um dos fatores particulares apresenta influência sobre o processo. As causas especiais de variação fazem com que o processo se comporte diferentemente do usual, ou seja, passa a operar fora do controle estatístico tornando a variabilidade além dos limites especificados. E, evidentemente, pode apresentar padrões sistemáticos (tendência, ciclo e repetição). Esses padrões constituem uma variação incomum e podem ter as suas causas identificadas e eliminadas. A eliminação das causas de variabilidade faz com que o desvio padrão da variável em questão diminua e conseqüentemente a capacidade do processo aumenta. O fator particular matéria-prima, por exemplo, pode influenciar na variação além dos limites, no momento em que se ocorrer uma troca de fonte fornecedora do insumo ou troca do lote. Já a mão-de-obra pode influenciar quando se tem um funcionário sem treinamento adequado. O método de trabalho produz variabilidade particular quando os operadores se afastam do método previsto no projeto do processo de produção. Como se sabe, até os meios de medição são causas de variabilidade no processo. Uma empresa que produz com uma boa capacidade de processo tem os seus instrumentos de medição calibrados periodicamente em um laboratório de metrologia.

O exemplo adiante corresponde aos valores das amostras da turbidez da água tratada durante o mês de janeiro de 2004 na Cidade de Foz do Iguaçu. Os dados estão na TABELA 11.

TABELA 11 - TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA – JANEIRO DE 2004 – FOZ DO IGUAÇU

Dia	Valor	Dia	Valor
1	0,54	17	0,64
2	0,72	18	0,67
3	0,68	19	0,63
4	0,64	20	0,66
5	0,65	21	0,58
6	0,50	22	0,67
7	0,56	23	0,50
8	0,49	24	0,60
9	0,46	25	0,69
10	0,61	26	0,65
11	0,67	27	0,59
12	0,51	28	0,58
13	0,53	29	0,56
14	0,62	30	0,63
15	0,43	31	0,55
16	0,61		

Fonte: Sanepar

A Carta de Controle \bar{x} para essa característica está na Figura 6 adiante.

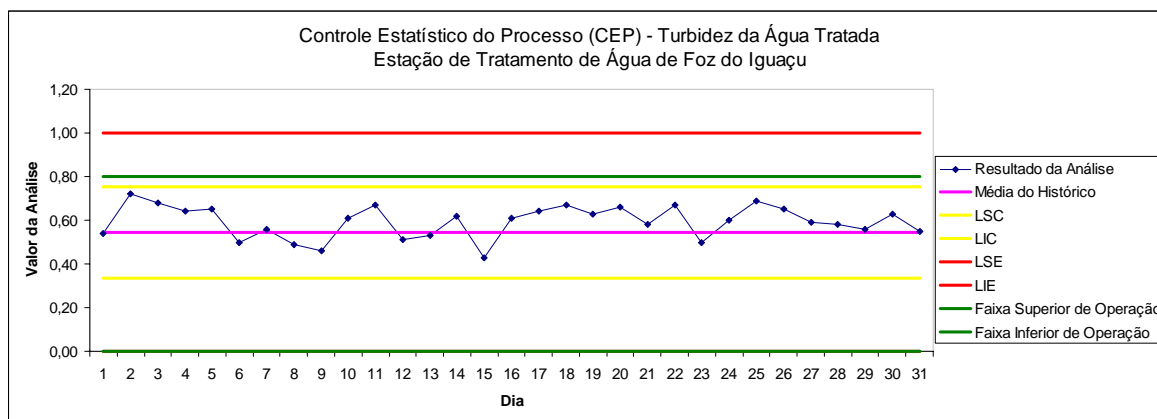


FIGURA 7 - CARTA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA - ETA: VILA C - FOZ DO IGUAÇU.

Fonte: O Autor

A média do histórico é de $\bar{x} = 0,57$ uT, enquanto que o desvio padrão $\hat{\sigma} = 0,073$, originando o $LSC = 0,57 + 3 \cdot 0,073 = 0,79$ e o $LIC = 0,57 - 3 \cdot 0,073 = 0,35$. A faixa de operação superior e inferior são de controle interno da Sanepar de Foz do Iguaçu, cujos valores variam de 0 uT à 0,8 uT, enquanto que o valor máximo determinado pela Portaria 518 é de 1,0uT.

Observa-se no gráfico que nenhuma amostra tem valor médio que ultrapassa o limite superior de controle (LSC). Porém, há comportamentos sistemáticos em que 7 valores consecutivos estão acima da média, desde o dia 16 ao dia 22 do mês de janeiro está em não-conformidade, ou seja, a turbidez foi afetada por alguma das causas especiais de variação. Sendo assim, será necessário identificar a causa dessa variação e eliminá-la. Como desenvolver essa ação deve estar previsto no plano de reação do processo.

2.2.3.6 – Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão é utilizado para identificar uma possível relação entre duas variáveis, sendo que a coleta de dados é feita aos pares $(x_i; y_i)$. Então, plotam-se os pontos em plano cartesiano, sendo que pela forma obtida identifica-se o tipo de relação que pode existir entre as duas variáveis.

Sejam os valores obtidos no município de Foz do Iguaçu, Paraná, referentes ao PH e à turbidez da água tratada durante os 15 primeiros dias do mês de fevereiro de 2004. Os dados estão na TABELA 12, a seguir.

TABELA 12 – PH X TURBIDEZ DA ÁGUA EM JANEIRO DE 2004

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PH	6,70	6,73	6,85	6,62	6,84	6,70	6,96	6,71	6,66	6,58	6,67	6,73	6,66	6,68	6,82
Turbidez	0,54	0,72	0,68	0,64	0,65	0,50	0,56	0,49	0,46	0,61	0,67	0,51	0,53	0,62	0,43

Fonte: Sanepar

Através das informações acima se tem o diagrama de dispersão:

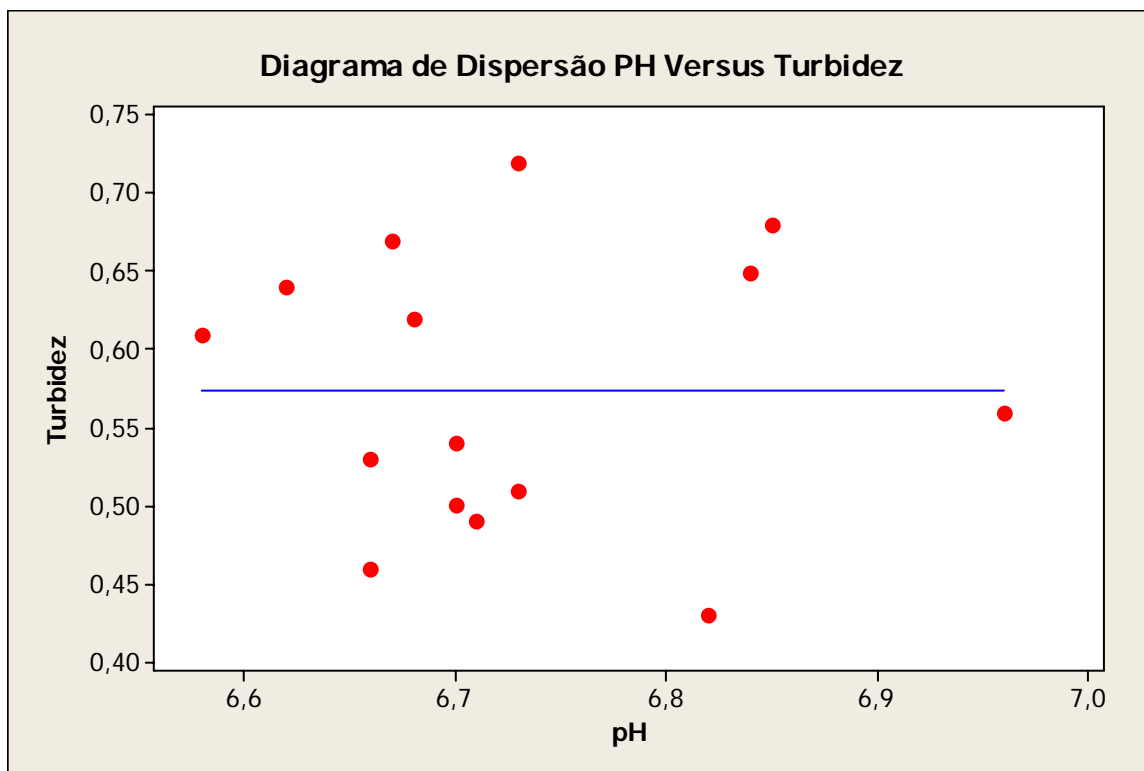


FIGURA 8 - DIAGRAMA DE DISPERSÃO TURBIDEZ X PH DA ÁGUA TRATADA.

Fonte: O Autor

Pelo diagrama de dispersão da Figura 8, estatisticamente não é possível afirmar que existe uma relação entre as variáveis Turbidez e pH, ou seja, elas não mostraram uma associação. Os pontos indicam uma nuvem de pontos aleatórios.

2.2.3.7 – Diagrama de Caixa

O diagrama de caixa (*box plot*) identifica aspectos tais como tendência central ou posição, dispersão ou variabilidade, afastamento da simetria e valores discrepantes (*outliers*). Este diagrama permite uma visualização fácil de ser compreendida e são úteis para a comparação gráfica de conjunto de dados, uma vez que exibe os três quartis, máximo e mínimo dos dados através de uma caixa retangular, horizontal ou verticalmente. Para ilustração, seja a tabela abaixo contendo valores de cloro residual na água tratada nos meses de janeiro, maio e outubro na cidade de Foz do Iguaçu.

TABELA 13 - CLORO RESIDUAL NA ÁGUA TRATADA NO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU, NOS MESES DE JANEIRO, MAIO E OUTUBRO DE 2004.

jan/04	mai/04	out/04
1,36	1,24	1,19
1,35	1,36	1,18
1,32	1,43	1,20
1,40	1,39	1,16
1,29	1,37	1,29
1,33	1,36	1,22
1,34	1,33	1,25
1,30	1,37	1,24
1,33	1,25	1,31
1,37	1,34	1,20
1,31	1,29	1,17
1,30	1,36	1,16
1,38	1,38	1,19
1,29	1,31	1,22
1,32	1,37	1,19
1,35	1,30	1,21
1,28	1,40	1,28
1,37	1,36	1,22
1,35	1,27	1,35
1,33	1,39	1,29
1,43	1,44	1,29
1,34	1,33	1,17
1,22	1,31	1,28
1,32	1,41	1,25
1,30	1,39	1,24
1,30	1,38	1,17
1,31	1,31	1,18
1,26	1,24	1,27
1,32	1,29	1,21
1,26	1,27	1,25
1,26	1,30	1,23

Fonte: O Autor

Tem-se o diagrama de caixa

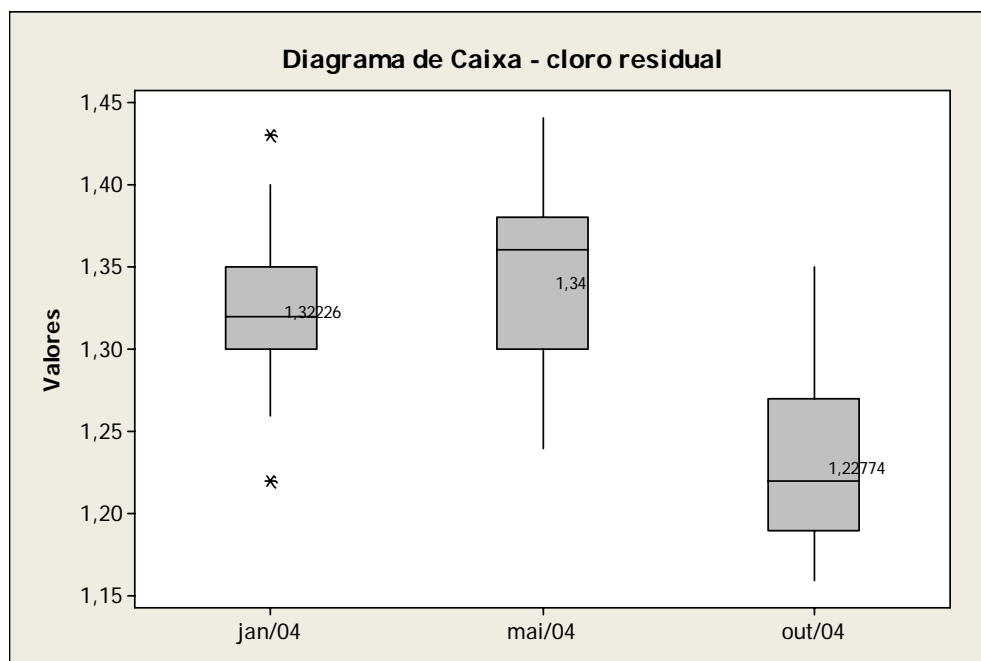


FIGURA 9 - DIAGRAMA DE CAIXA PARA O CLORO RESIDUAL PARA JANEIRO, MAIO E OUTUBRO DE 2004.

Fonte: O Autor

Os resultados do diagrama sugerem diferenças significativas entre as médias entre os meses de janeiro e outubro e entre maio e outubro, porém não há diferenças significativas entre as médias dos meses de janeiro e maio. A variabilidade entre as médias torna o sistema instável e o valor ideal deixa de ser alcançado. É uma ferramenta de grande utilidade no presente trabalho para o cálculo de comparações entre médias nos diferentes períodos do ano.

2.2.4 – Capacidade do Processo (C_p)

A análise da capacidade do processo é uma técnica que quantifica a variabilidade do processo e permite uma comparação com as especificações do produto. O indicador da capacidade do processo, geralmente, compara por meio de uma razão a amplitude de especificação da característica com a amplitude do processo de produção dessa característica. MONTGOMERY (2004) argumenta que a capacidade do processo diz respeito à sua uniformidade na produção e determina duas maneiras de encarar essa variabilidade seja ao longo do tempo, seja instantaneamente.

Dada uma amostra cuja distribuição seja normal com média μ e desvio padrão σ que representa a população correspondente a uma característica da qualidade são estabelecidos os “limites naturais de tolerância” superior e inferior tais que:

$LNTS = \mu + 3\sigma$ é o limite natural de tolerância superior e

$LNTI = \mu - 3\sigma$ é o limite natural de tolerância inferior

A diferença entre esses dois limites determina a amplitude do processo, ou seja, 6σ . Para a distribuição normal, os limites naturais de tolerância abrangem 99,73% da área do gráfico ($C_p = 1$). De forma equivalente, 0,27% da saída do processo ficam fora dos limites naturais de tolerância. Apesar de esta última porcentagem parecer não ser significativa, esta corresponde a 2700 defeitos (não conformidade) por milhão, e, em processos de produção em massa, esse valor torna-se um grande problema. Caso a distribuição não seja normalmente distribuída, a porcentagem difere um pouco desses valores.

Das principais utilizações da análise da capacidade de um processo destacam-se:

1. Prever as tolerâncias do projeto;
2. Auxiliar os planejadores do produto na modificação de um projeto;
3. Auxiliar a criação de intervalos entre amostras para monitoramento do processo;
4. Especificar as condições de desempenho para um equipamento novo;
5. Selecionar entre vendedores concorrentes;
6. Planejar a seqüência de processos de produção quando existir um efeito interativo de processos sobre as tolerâncias;
7. Reduzir a variação em um processo de produção.

Vale salientar que o histograma associado com a média amostral \bar{x} e o desvio padrão s , geram informações sobre a capacidade do processo, e é considerado uma das técnicas fundamentais para análise da capacidade de um processo, uma vez que seu aspecto determina se os dados são normalmente distribuídos. Para ilustração, sejam os valores do cloro residual da água tratada da Estação de Tratamento da Vila C, Foz do Iguaçu, durante o mês de janeiro de 2004, conforme TABELA 13. Tem-se o histograma na Figura 10:

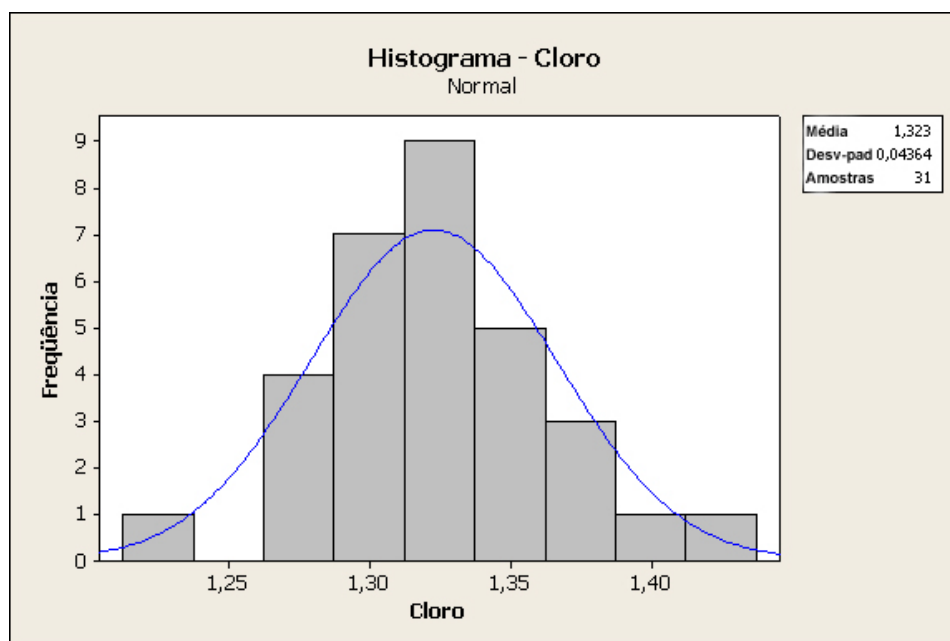


FIGURA 10 - HISTOGRAMA PARA O CLORO EM JANEIRO DE 2004, FOZ DO IGUAÇU.
Fonte: O Autor

De acordo com a característica da variável cloro, pode-se afirmar que seus valores são normalmente distribuídos. Paralelamente, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov, através do software MINITAB, resultando em um p-valor maior que 0,15. Logo, os dados seguem uma distribuição normal.

O índice C_p (Capacidade do Processo) compara a amplitude de especificação do projeto ($LSE - LIE$) com a amplitude do processo ($LNTS - LNTI = 6\sigma$). Logo, a capacidade do processo (potencial) é definida pela razão da variação do intervalo de especificação do projeto com 6σ , ou seja:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{LNTS - LNTI} = \frac{LSE - LIE}{\mu + 3\sigma - (\mu - 3\sigma)} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2.28)$$

onde LSE e LIE são respectivamente: limite superior de especificação e limite inferior de especificação, e 6σ é a amplitude do processo.

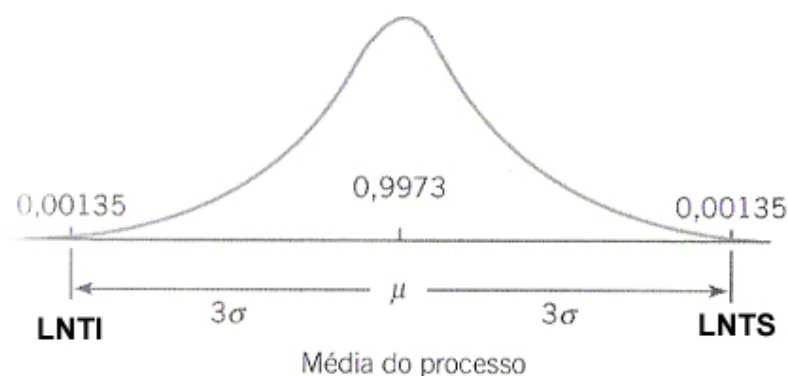


FIGURA 11 – MÉDIA DO PROCESSO

Fonte: Montgomery (2004) Pg. 221

Em aplicações reais, o desvio padrão σ é geralmente desconhecido, tornando-se necessário estimá-lo. Para isto, é usado o desvio padrão amostral s resultando na estimativa de C_p :

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad (2.29)$$

Para o residual de cloro durante o mês de janeiro de 2004 (TABELA 13), obteve-se um desvio padrão amostral de $s = 0,0445$, baseado na amplitude móvel. Logo, considerando-se as especificações da portaria resulta uma capacidade potencial de:

$$\hat{C}_p = \frac{2,0 - 0,6}{6 * 0,0445} = 5,24$$

Esse é um número muito bom, significativamente acima do aceitável, uma vez que, pela TABELA 14, pode-se fazer uma estimativa do desempenho do processo em função do índice de C_p .

TABELA 14 - VALORES DA RAZÃO DA CAPACIDADE DE UM PROCESSO (C_p) E FALHAS ASSOCIADAS (EM PPM DEFEITUOSAS) PARA UM PROCESSO NORMALMENTE DISTRIBUÍDO QUE ESTÁ SOB CONTROLE ESTATÍSTICO.

Valores da Razão da Capacidade de um Processo (C_p) e falhas associadas (em ppm defeituosas) para um Processo Normalmente Distribuído que está sob Controle Estatístico		
Falhas do Processo (em ppm defeituosas)		
C_p	Especificações Unilaterais	Especificações Bilaterais
0,25	226.678	453.255
0,50	66.807	133.614
0,60	35.931	71.861
0,70	17.865	35.729
0,80	8.198	16.395
0,90	3.467	6.934
1,00	1.350	2.700
1,10	484	967
1,20	159	318
1,30	48	96
1,40	14	27
1,50	4	7
1,60	1	2
1,70	0,17	0,34
1,80	0,03	0,06
2,00	0,0009	0,0018

Fonte: Montgomery (2004)

A TABELA 14 relata, para um processo estável e normalmente distribuído, as taxas de falhas para especificações unilaterais e bilaterais. Para um melhor resultado, é sempre recomendado fazer o cálculo do índice de C_p e estabelecer intervalos de confiança para o mesmo.

2.2.5 – Capacidade do Processo para um Processo Descentrado

Ao utilizar o índice de capacidade do processo (C_p), não é levada em conta a posição da média do processo em relação aos limites especificados no projeto. Em outras palavras, o índice da capacidade do processo mede apenas a dispersão das especificações em relação à dispersão do processo.

Conforme Figura 11, o processo pode ter baixa variabilidade, mas isso não implica em alto índice de eficiência se levado em conta a centralização do mesmo. A situação é identificada na Figura a seguir:

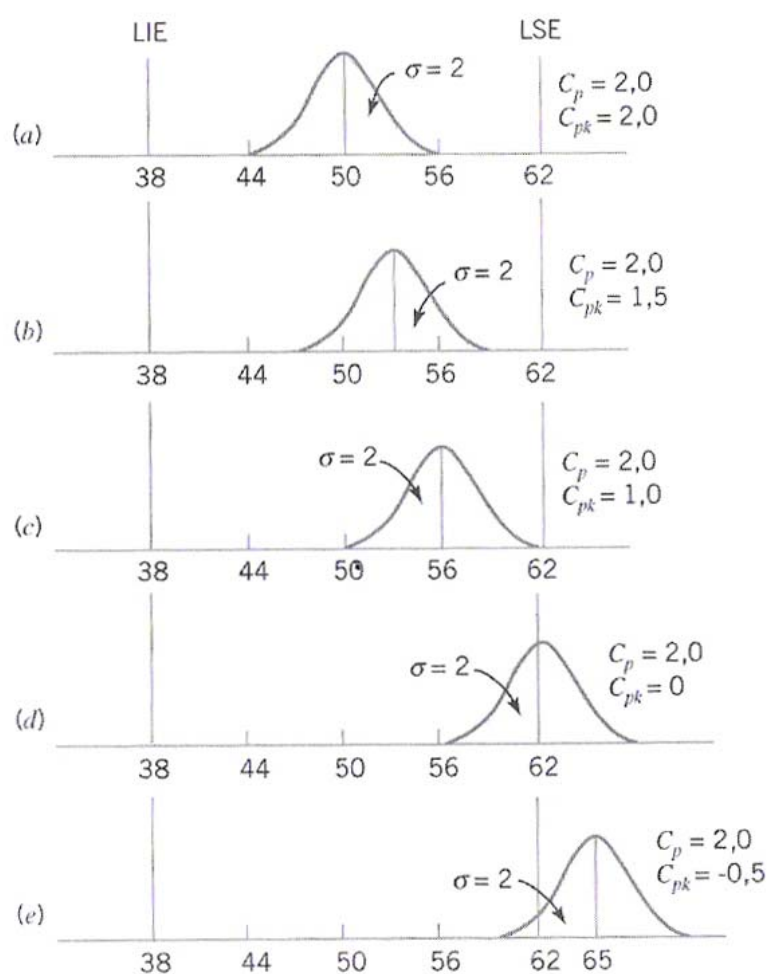


FIGURA 12 – CAUSAS ALEATÓRIAS E CAUSAS ATRIBUTÁVEIS DA VARIABILIDADE

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004) Pg. 228

Inicialmente, observa-se na Figura 12 que a distribuição é Gaussiana. Em todas as situações a capacidade potencial do processo C_p é a mesma. Assim, C_p não aponta a falta de centralidade presente em todas as situações, exceto na primeira. Isto é um defeito grave

do índice da capacidade C_p . Mesmo na situação extrema (e), com o processo quase todo fora do intervalo de especificação C_p é igual a 2,0. Portanto, há necessidade de um indicador que aponte essa descentralidade.

Surgiu, então, um novo conceito de razão da capacidade do processo, cuja representação é dada por C_{pk} . Esse indicador leva em consideração a falta de centralização do processo, mas não é o ideal. Assim, tem-se:

$$C_{pk} = \min(C_{ps}, C_{pi})$$

onde C_{ps} e C_{pi} são chamados de capacidade unilaterais superior e inferior. As expressões desses indicadores são:

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3\sigma} \text{ e } C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \quad (2.30)$$

No caso (b) possui, pode-se calcular o índice de C_{pk} substituindo os valores:

$$C_{pk} = \min\left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right) \rightarrow C_{pk} = \min\left(\frac{62 - 53}{3(2)}, \frac{53 - 38}{3(2)}\right) \rightarrow C_{pk} = \min(1,5; 2,5) = 1,5$$

No caso (c) o valor de $C_{pk} = 1,0$ enquanto que $C_p = 2,0$.

Quando a média do processo for exatamente igual a um dos limites de especificação tem-se $C_{pk} = 0$ e, quando $C_{pk} < -1$, tem-se que a média do processo se localiza fora das especificações.

A importância de C_{pk} em relação à C_p está em que é uma medida que indica quão descentrado o processo está. Se $C_p = C_{pk}$, o processo está centrado no ponto médio dos limites especificados, e quando $C_{pk} < C_p$, o processo está descentrado. De maneira geral, diz-se que C_p mede a capacidade potencial do processo, enquanto C_{pk} mede a capacidade atual do processo. Assim, C_p informa que quando o processo for colocado no centro terá a capacidade indicada por C_p . Pode-se considerar como regra:

- ***C_p e C_{pk} maiores que 1,33: processo é capaz para + / - 4 desvios-padrões, mínimo de 99,994% dos itens dentro da tolerância.***
- ***C_p e C_{pk} maiores que 1,00: processo é capaz para + / - 3 desvios-padrão, mínimo de 99,73% dos itens dentro da tolerância.***
- ***C_p e C_{pk} menores que 1,00: processo não é capaz para + / - 3 desvios-padrão, menos de 99,73% dos itens dentro da tolerância.***

2.2.5.1 – Terceira Geração do Índice de Capacidade do Processo

A primeira geração da Razão da Capacidade do Processo (C_p) não aborda adequadamente a situação de um processo com média μ que não esteja centrada entre os limites inferior e superior de especificação. E, o índice C_{pk} ainda não é uma medida adequada de centralização de um processo, como pode ser observado na Figura 13:

CENTRALIZAÇÃO DE PROCESSOS

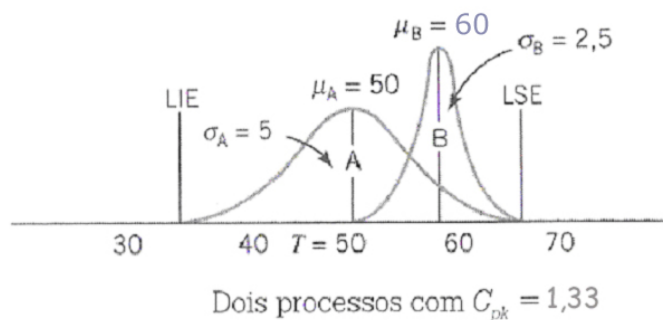


FIGURA 13 – DOIS PROCESSOS COM $C_{pk} = 1,33$

Fonte: Adaptado de Montgomery (2004) Pg. 229

A Figura 13 mostra que, em ambos os casos, os processos têm $C_{pk} = 1,0$, porém com médias diferentes. Para evidenciar de maneira satisfatória a centralização de um processo, o C_{pk} deve ser comparado com C_p . Observa-se também que o processo B possui $C_p = 2,0 > C_{pk} = 1,0$ fato que comprova que o processo está descentrado. Dado um processo qualquer com média μ no intervalo do limite inferior de especificação e limite superior de especificação, o valor de C_{pk} depende inversamente de σ e aumenta quando σ tende para zero. Este fato pode tornar C_{pk} um valor inadequado para medir a centralização do processo, uma vez que um grande valor deste índice nada nos diz sobre a localização da média no intervalo inferior e superior de especificação.

A terceira geração da capacidade do processo, substitui, na expressão de C_p , o desvio padrão s pela raiz do erro quadrático médio, ou seja,

$$C_{pkm} = \frac{LSE - LIE}{6\sqrt{s^2 + (T - \bar{x})^2}} \quad (2.31)$$

onde T é o alvo especificado, \bar{x} é a média do processo e s^2 é a variância do processo. O índice de C_{pkm} é constituído a partir da segunda geração C_p , de maneira análoga como essa

foi gerada a partir da primeira geração C_p . O C_{pkm} é caracterizado pela maior sensibilidade a afastamentos da média em relação ao alvo desejado no processo de produção.

2.2.5 – Trabalhos Anteriores

Ferramentas da estatística e da matemática, tais como o CEP – Controle Estatístico do Processo – são de grande utilidade na obtenção da estabilidade de um processo, pois ajudam na redução da variabilidade e conseqüente aumento da capacidade. São apresentadas aqui, nesta seção, algumas discussões acerca das ferramentas utilizadas nesse trabalho.

MONTGOMERY (2004), afirma que o CEP pode ser aplicado em processos quaisquer desde que sejam estáveis e destaca também as principais ferramentas do CEP, que são: o histograma, a folha de controle, o diagrama de Pareto, o diagrama de causa-e-efeito, diagrama de dispersão e as cartas de controle. Essas ferramentas são utilizadas pelos responsáveis pela melhoria continuada na qualidade e na produtividade dos processos.

FEIGENBAUM (1994) define carta de controle como um “método gráfico para avaliar se o processo se encontra ou não sob controle estatístico”. A carta de controle é uma comparação gráfica cronológica das características da qualidade real do produto ou serviço, onde os limites refletem a capacidade de produção. São de grande importância na separação de variação em componentes conformes e não conformes. A partir do momento em que os limites são estabelecidos e considerados como aceitáveis para a produção, a carta de controle assume a função de auxiliar no controle da qualidade.

De fato, trabalhos anteriores mostraram forte eficácia com o auxílio destas estatísticas no que diz respeito ao monitoramento da variabilidade em um processo. Tais ferramentas se aplicam nas mais variadas situações. ITAMAR (2005) utilizou as ferramentas do CEP em uma indústria de processamento de camarão marinho para medir e analisar a quantidade de metabisulfito de sódio, conservante utilizado pela maioria das indústrias de pescas, durante o processo de despesca e processamento de camarão. Inicialmente o processo estava fora do controle estatístico, implicando na má qualidade de conserva do produto, e após, foi descoberta e eliminada a causa da variação, tornando o processo estável.

BOMFIM (2006) implementa o Controle Estatístico do Processo em uma usina de álcool para monitoramento do processo de produção do Álcool Hidratado. Segundo o autor, a melhoria contínua da qualidade através das cartas de controle é detectada com

mais facilidades através dos pontos que estejam desconformes em suas especificações. Neste trabalho, foram encontradas e eliminadas algumas variações no processo de produção do álcool, melhorando a competitividade da empresa no mercado.

Conforme trabalho de ROMERO (2006), o peso das balas *drops* foi monitorado por cartas de controle. Como se sabe, esse produto deve atender a um certo peso especificado e com limites dados pelo Inmetro. No geral, os resultados mostram que apesar das exigências do Inmetro, houve necessidade da criação de novos procedimentos para controle de produção. Houve melhoria na qualidade e no peso médio das balas de *drops*.

Na área da Medicina existem diversas aplicações de técnicas estatísticas. CAMARGO (2003) aplicou técnicas através do uso das cartas de controle para acompanhamento das taxas de glicose em seres humanos. Foi realizado um estudo de caso, onde uma pessoa considerada diabética, submeteu-se a um acompanhamento diário das taxas de glicose, cujos dados foram de um período do ano de 2003. Através do histograma, foi possível aceitar a normalidade dos dados, uma vez que com o auxílio deste teste, os dados se comportaram bem. Foram criados gráficos para média da taxa de glicose e observados alguns pontos fora dos limites de controle, indicando atuação de causas especiais atuando no processo. Trabalhos como este, permitem monitorarem o comportamento das variáveis na área da saúde, de forma que os profissionais da área de saúde façam o acompanhamento de seus pacientes.

CARMO (2006) fez uso das cartas de controle estatístico, buscando a ampliação do conhecimento do processo e a diminuição da variabilidade de parâmetros como Ph, flúor, cloro e turbidez, da água tratada. As cartas de controle também foram utilizadas para análises instrumentais tais como teor de ferro, manganês, flúor e alumínio, garantindo maior confiabilidade nos resultados, os quais anteriormente eram apenas descritos analiticamente, passando a não mais haver inconvenientes como um comportamento padrão das variáveis, tendências ou pontos fora dos limites. Com isso, houve maior facilidade de atuação imediata em problemas tais como verificação de uso e validade de reagente e outras contaminações possíveis.

No presente trabalho, além das cartas de controle, foram estimados os índices de capacidade que medem a eficiência do processo, visando à busca contínua pela qualidade da água potável. Tais variações, quando sob controle estatístico, serão monitoradas de forma a indicarem quais características da água necessitam de maior atenção no momento do tratamento, aumentando, dessa forma, a produtividade e a qualidade.

2.3 – ETAPAS DO TRATAMENTO DA ÁGUA

O emprego das técnicas estatísticas no controle de qualidade do processo de tratamento da água também se torna necessário, como em todo e todo processo de produção. A Figura 14 mostra os estágios do processo de produção de água potável.

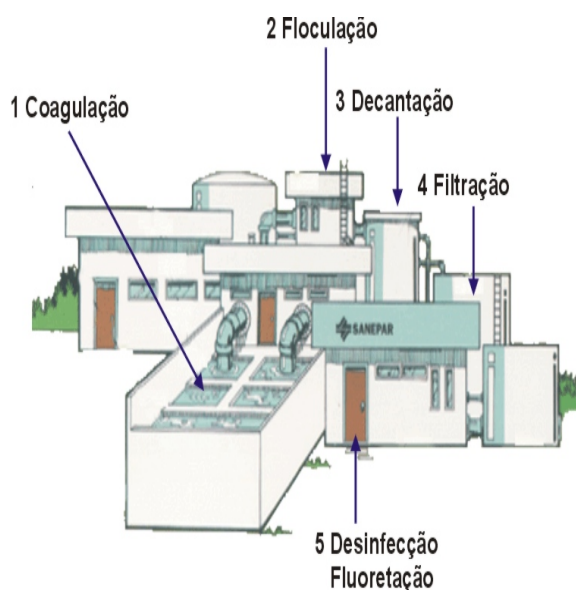


FIGURA 14 - ESTÁGIOS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA ÁGUA POTÁVEL.

Fonte: Sanepar

A etapa inicial do tratamento é denominada coagulação. Neste processo são misturadas as substâncias químicas tais como sulfato de alumínio e sulfato ferroso juntamente com substâncias auxiliares de coagulação para que ocorra a aglutinação de partículas suspensas. Durante a etapa da floculação a água é conduzida aos misturadores responsáveis pela formação de “flocos” entre o ferro trivalente ou íon de alumínio com as partículas presentes na água. Após esse procedimento, a água passa para tanques de decantação onde permanece por aproximadamente 3 horas. É nos tanques de decantação que os flocos que contêm grande parte das impurezas são depositados no fundo dos tanques. A fase de filtração retém as impurezas restantes através de suas unidades (filtros) constituídas de areia de granulometria variada. Após a filtração, ocorre a desinfecção da água, que apesar de limpa ainda pode conter bactérias e outros organismos patogênicos causadores de doenças como, por exemplo, a febre tifóide, desintéria bacilar e cólera. Para tanto, aplica-se o elemento cloro em forma de gás ou em soluções hipoclorito nas

proporções que variam de acordo com a necessidade da água. Finalmente, aplica-se o elemento flúor com a finalidade de prevenir a cárie dentária. E vale salientar que essas substâncias químicas podem causar problemas à saúde da população quando não dosadas criteriosamente. A estação de tratamento da Vila C, de Foz do Iguaçu, não possui tanques para a decantação de água durante a fase do tratamento, uma vez que a turbidez da água bruta que chega até a estação possui turbidez aproximada de 7uT, em média.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 – MATERIAL

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de dados obtidos na Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar, Agência de Foz do Iguaçu, a qual opera com certificação ISO 14001 para o Sistema de Tratamento de Água e Esgoto. Essa certificação garante que a agência de Foz do Iguaçu opera de acordo com a legislação ambiental no que diz respeito ao tratamento e coleta de esgoto. Esta empresa é a primeira companhia das Américas a receber tal certificação (SANARE, 2006). O sistema de tratamento da Sanepar de Foz do Iguaçu possui duas estações de tratamento produtoras de água potável, uma operando na Vila C e outra no bairro Tamanduá. O sistema representa uma produção de 1000 ℓ de água potável a cada segundo. O sistema de distribuição de água potável é composto por 17 estações elevatórias de água tratada e 14 reservatórios com capacidade total de 25.660 m³. A rede de distribuição de água potável atende 65.512 ligações o que corresponde a 98,9% da população urbana de Foz do Iguaçu, ou seja, 293963 habitantes. Já o sistema de coleta e tratamento de esgoto é composto por 5 estações de tratamento com capacidade nominal total de tratamento de 490 litros a cada segundo, 12 Estações Elevatórias de Esgoto, 550.000 m de extensão, com 6 interceptores de 37904 m de extensão, os quais coletam diariamente 29500 m³ de esgoto, atendendo 54,47% da população. Todo o esgoto coletado no sistema é tratado.

Diariamente são feitas análises da água tratada em diversos componentes, conforme é detalhado a seguir. Estes valores são registrados em boletins diários de tratamento em cada estação de tratamento. Antigamente eram anotados manualmente em papéis, todavia, atualmente são digitados em planilhas do Microsoft Excel. Adiante na Figura 15 tem-se um desses boletins na forma de planilha EXCEL.

Microsoft Excel - Dezembro_2006

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda


70% Arial 12

C:\Documents and Settings\Marlon\Desktop\Dezembro_2006.xls

S8 1,24

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z AA AB AC AD

SANEPAR - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ



BOLETIM DIÁRIO DE TRATAMENTO DA ETA VILA C

BOLETIM DIÁRIO DE TRATAMENTO DE ÁGUA - BDT																		ETA VILA C										Data:	
Horas	Temperatura		IN-Natura - (Aduzido)					Coagulado 1 e 2		Filtrada		ÁGUA TRATADA - PRODUZIDA										APPROVAÇÃO							
	Ar	Água R	pH	Turb.	Cor	Alcal.	*Ferro	pH Mod	pH Mod	Turb.	Turb.	*Ferro	pH	Turb.	Cor	Cloro	Al	Flúor	Odor	Sabor									
MIN.	-	10°	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	4,5	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Objetivo	Objetivo	APPROVAÇÃO							
MAX.	35°	25°	8,6	80,0	200	90,0	4,0	6,7	6,7	1,00	1,00	0,3	9,0	1,00	5,0	1,6	0,2	1,1	SIM	NÃO	SIM	NÃO							
01	28°	27°	7,2	1,68	5,0			6,7	6,7	0,35	0,36		6,7	0,34	2,5	1,24	0,8		NÃO	NÃO	SIM	NÃO							
02				1,59			0,1	6,7	6,7	0,32	0,33	0,20		0,30		1,32	0,8				SIM								
03	28°	27°	7,1	1,57	5,0			6,7	6,7	0,36	0,39		6,7	0,35	2,5	1,42	0,8		NÃO	NÃO	SIM								
04				1,51		21,0		6,7	6,7	0,58	0,61			0,51		1,44	0,7				SIM								
05	27°	27°	7,2	1,48	5,0			6,7	6,7	0,42	0,44		6,7	0,47	2,5	1,45	0,8		NÃO	NÃO	SIM								
06				1,44				6,7	6,7	0,36	0,37			0,56		1,43	0,8				SIM								
07	26°	27°	7,2	1,52	5,0			6,7	6,7	0,42	0,33		6,7	0,43	2,5	1,53	0,8		NÃO	NÃO	SIM								
08								6,7	6,7	0,54	0,78		6,7	0,37	2,5	1,55	0,00	0,7		NÃO	NÃO	SIM							
09	25°	29°	7,2	1,11	5,0	20,0		6,7	6,7	0,63	0,21			0,44		1,38	0,7				SIM								
10				1,35				6,7	6,7	0,15	0,16		6,7	0,29	2,5	1,24	0,7		NÃO	NÃO	SIM								
11	28°	29°	7,2	1,32	5,0			6,7	6,7	0,38	0,30			0,32		1,25	0,7				SIM								
12				1,36				6,7	6,7	0,14	0,25		6,6	0,19	2,5	1,26	0,8		NÃO	NÃO	SIM								
13	30°	30°	7,2	1,40	5,0	21,0		6,7	6,7	0,16	0,26			0,27		1,31	0,7				SIM								
14				1,37				6,7	6,7	0,17	0,26		6,6	0,22	2,5	1,33	0,7		NÃO	NÃO	SIM								
15	39°	30°	7,2	1,41	5,0			6,7	6,7	0,17	0,23			0,17		1,30	0,7				SIM								
16				1,36				6,7	6,7	0,20	0,35		6,8	0,32	2,5	1,33	0,01	0,6		NÃO	NÃO	SIM							
17	37°	30°	7,2	1,39	5,0	20,0		6,7	6,7	0,15	0,17			0,17		1,24	0,6				SIM								
18				1,40				6,7	6,7	0,18	0,25		6,7	0,26	2,5	1,26	0,7		NÃO	NÃO	SIM								
19	39°	30°	7,2	1,37	5,0			6,7	6,7	0,27	0,29			0,27		1,53	0,7				SIM								
20				1,39				6,7	6,7	0,27	0,29			0,27		1,53	0,7				SIM								

H4 / lista 1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 6 / 7 / 8 / 9 / 10 / 11 / 12 / 13 / 14 / 15 / 16 / 17 / 18 / 19 / 20 / 21 / 22 / 23 / 24 / 25 / 26 / 27 / 28 / 29 / 30 / 31 / Operação / Médias / VOL F /

Desenhar AutôFormas

Pronto

FIGURA 15 - BOLETIM DIÁRIO DE TRATAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DA VILA C
MÊS DE DEZEMBRO DE 2006 – FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: Sanepar

No Boletim Diário de Tratamento são registradas as análises das várias características de qualidade da água tratada. Assim, tem-se registros a cada hora para a turbidez, a cada hora para o cloro, a cada hora para o Flúor, a cada 2 horas para o pH e a cada 8 horas para o residual de alumínio da água tratada. Ao final de cada mês esses dados são condensados em uma planilha mensal, com valores médios de cada variável para cada dia do mês. Essa planilha contém as estatísticas descritivas básicas: valor mínimo $x_{(1)}$, valor máximo $x_{(n)}$, e a média do dia \bar{x} . A seguir, na Figura 16 é apresentada tal planilha.

Microsoft Excel - 01 Janeiro 2004

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

</

FIGURA 16 - BOLETIM MENSAL DE TRATAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DA VILA C
JANEIRO DE 2004

Fonte: Sanepar

A partir destes dados, cedidos pela empresa para a elaboração deste trabalho, foram calculados mensalmente para os anos de 2004, 2005 e 2006 os índices de capacidade: capacidade potencial, C_p , capacidade real, C_{pk} e capacidade real modificada, C_{pkm} . Para o ano de 2007 foi desenvolvido, como objetivo deste trabalho, um programa em EXCEL para o monitoramento *on-line* utilizando cartas de controle para medidas individuais além dos índices de capacidade que são gerados automaticamente com a inserção dos dados no momento da medição.

3.2 – IMPLEMENTAÇÃO DO CEP

A produção de água, de tal forma a atender aos padrões da potabilidade fixados pela Portaria 518, é resultado do processo de tratamento através do uso de tecnologias e monitoramento por processos estatísticos. A empresa possui um sistema de controle das características de qualidade citadas anteriormente (PH, cloro, flúor, turbidez e alumínio) em que são feitas anotações diárias, em boletins, dos valores obtidos em amostras

coletadas em intervalos de tempo não necessariamente iguais. O número de amostras diárias varia conforme a característica.

As estatísticas utilizadas pela empresa são: o mínimo $x_{(1)}$, o máximo $x_{(n)}$ e o valor médio \bar{x} . Estas estatísticas ajudam a monitorar as variações de forma que a empresa se situe dentro dos parâmetros exigidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 518. Mas, essas estatísticas não trazem informações suficientes sobre o comportamento ao longo de um período de tempo, nem como está a capacidade do processo quanto às especificações da portaria. Dessa forma, foram desenvolvidas cartas de controle por variáveis, estatisticamente mais robustas que as existentes, além dos índices de capacidade que medem a eficiência do processo de produção de água potável.

Conforme MONTGOMERY (2004) “Os gráficos \bar{x} e R (ou s) estão entre as mais importantes e úteis técnicas de controle de monitoramento do processo”. Quando se tem uma carta de controle \bar{x} , por exemplo, os valores amostrais estão em torno da média de forma aleatória. No caso do tratamento da água, a variabilidade das amostras tem comportamento aleatório em torno da média, já que as amostras vêm de uma distribuição normal. Esta é uma das técnicas utilizadas no presente trabalho no controle estatístico do processo.

A carta de controle de Shewhart para medidas individuais também foi útil neste trabalho no que diz respeito ao desenvolvimento do software para monitoramento *on-line*, uma vez que são feitas várias medidas durante o dia, cujo tamanho da amostra é $n = 1$, isto é, consiste apenas de uma unidade individual. Caso algum valor para uma variável em estudo esteja fora do intervalo de variação máxima exigido pela Portaria, ou seja, fora dos limites de especificação, a qualidade da água não é considerada adequada para distribuição à população. Logo, devem ser tomadas medidas de correção dos resultados, através de técnicas de tratamento. Neste contexto, deve-se considerar um intervalo de variação menor que o especificado pela portaria, os limites: superior e inferior, de controle. Esses limites foram criados pela empresa de forma bastante simples, em alguns casos, por exemplo, atribuindo uma redução no intervalo permitido com um percentual de redução em cada lado da média, objetivando uma meta mais restrita do que a da Portaria.

3.2.1 – Análise dos Índices de Capacidade do Processo para Dados Históricos

A construção das cartas de controle, assim como a avaliação dos índices de capacidade foram baseadas nas técnicas apresentadas na seção 2 deste trabalho, com a utilização dos dados do ano de 2004 a 2006 da Estação de Tratamento de Foz do Iguaçu, Vila C. Foi utilizado o Microsoft Excel para a elaboração das planilhas que contém as tabelas e os gráficos com as análises mensais para cada variável.

Na elaboração deste trabalho foram utilizados valores amostrais da etapa do tratamento da água, uma vez que toda a qualidade da água para o consumo é medida nesse processo. Para tanto, foram estudadas as seguintes características de qualidade:

- Ph
- Turbidez
- Alumínio
- Flúor
- Cloro

Para cada variável citada são estabelecidas na Portaria 518 do Ministério da Saúde, para a água potável, as especificações. Seguem na TABELA 15 os limites especificados na Portaria nº 518, de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde:

TABELA 15 - LIMITES DE ESPECIFICAÇÃO SUGERIDOS PELA PORTARIA DO MINISTÉRIO DA SAÚDE.

Componente	PH	Turbidez	Alumínio	Flúor	Cloro
Mínimo	6,0	0,0	0,0	0,6	0,5
Maximo	9,5	1,0	0,2	1,1	2,5

Fonte: Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde.

Através das ferramentas estatísticas foram estudadas e detectadas as causas da variação e possível solução para um melhor comportamento dos resultados através da redução da variabilidade. A empresa, por motivo de melhoria na qualidade da água, procura trabalhar com um intervalo menor do que o especificado pela Portaria 518 do Ministério da Saúde. Porém, ao fazer a medição de uma das variáveis, podem ocorrer três possibilidades:

- As variáveis atendem os limites especificados pela Sanepar, o que implica que também atenda às exigências do Ministério da Saúde. Nesse caso a água está de acordo para o consumo pela população.

- As variáveis atendem os limites da Portaria, mas não atendem os limites da Sanepar. Nesse caso, torna-se necessária uma ação preventiva, com a finalidade de fazer as correções necessárias, impedindo uma maior variabilidade futura.
- As variáveis não atendem as especificações da Portaria. Nesse caso a água se torna imprópria para o consumo humano. A água, neste estado, deve ser corrigida quimicamente, para que possa ser utilizada pela população.

Na ocorrência deste último caso, a empresa terá um maior tempo para fazer as correções ocasionando custos adicionais tanto com mão de obra quanto com os materiais. Logo, é importante um método que monitore essas variações e identifique as possíveis origens das falhas.

Neste trabalho foram calculados os índices de Cp, Cpk e Cpk_m, em relação à faixa de operação. Em cada mês o programa cria as cartas de controle e aponta se o processo está centrado ou não no ponto médio das especificações. Com o monitoramento contínuo, a empresa fará uso de um programa desenvolvido em Excel para o controle diário das características da água durante os anos consecutivos. Em todo caso, as conclusões obtidas através das amostras históricas poderão ser tomadas como referência para a solução de problemas atuais.

3.2.2 – Implementação das Cartas de Controle para Monitoramento Contínuo do Processo

O tratamento dos dados atuais foi feito desenvolvendo-se um programa em EXCEL de forma que ao serem coletadas as amostras de água tratada, os valores são imediatamente cadastrados gerando automaticamente a carta de controle para medidas individuais, além da média diária, o desvio padrão estimado através do quociente entre a amplitude média e a constante $d_2 = 1,128$ (ver anexos). Cada dia do ano de 2007 irá gerar uma planilha contendo informações, para cada característica estudada. A média é representada na carta pela linha de cor rosa. Teoricamente os resultados das análises cedidos pela Sanepar devem ficar aleatoriamente em torno da linha da média. Há nessa carta, também, representado pela linha de cor verde, a faixa de operação da empresa (limites fixos) de maior restrição em relação à Portaria 518. Esta tolerância gira em torno de 20% abaixo da tolerância da portaria. Para cada ponto que sair deste limite devem ser

tomadas medidas de correção destes valores através de técnicas de tratamento. A linha vermelha do gráfico é a de máxima tolerância aceita, a qual está prescrita na Portaria 518 do Ministério da Saúde.

O cálculo da média, para determinado mês, é feito com base nas amostras do mês anterior. Para que a empresa possa utilizar o programa para o ano de 2007, foi cadastrado primeiramente o mês de dezembro de 2006, de modo a ser ter um ponto de partida para o programa. Os limites para certo mês são constantes, pois levam em conta o desvio padrão do mês anterior. Desta forma, ocorre a cada mês uma diminuição dos limites de controle, obrigando o sistema a operar com menor variabilidade. O programa faz todo esse processo automaticamente, bastando apenas inserir os resultados das análises diariamente.

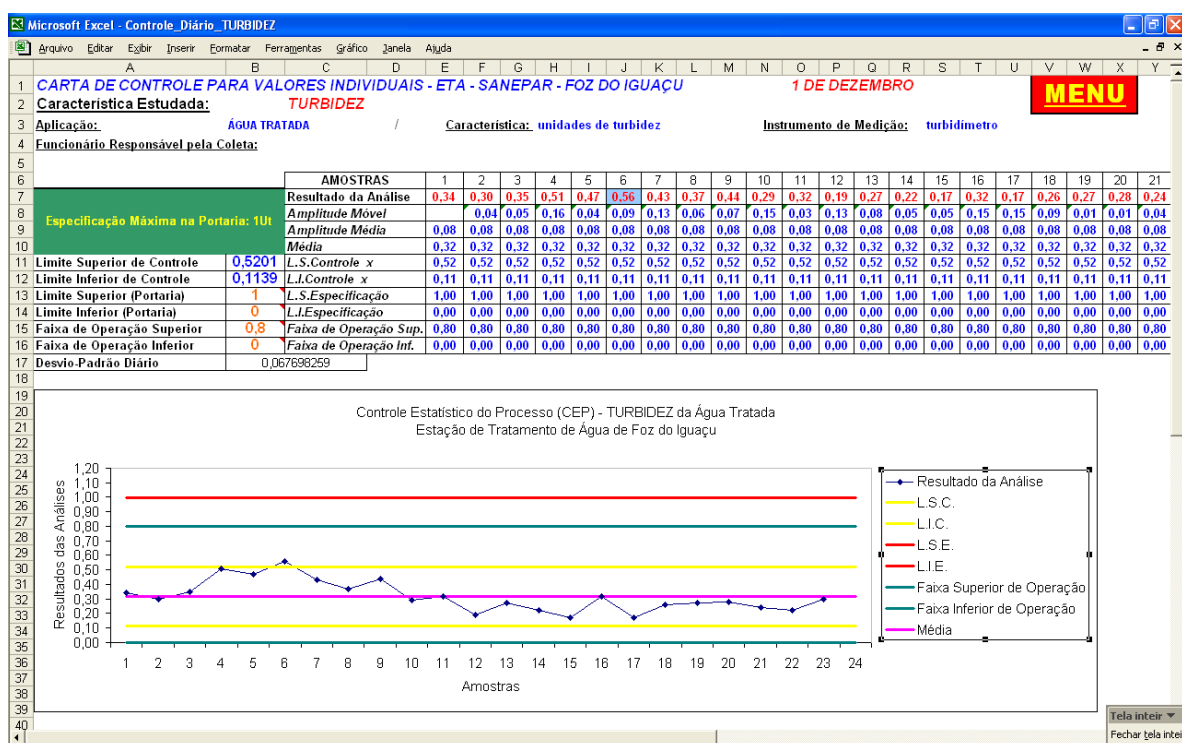


FIGURA 17 - CARTA DE CONTROLE PARA VALORES INDIVIDUAIS PARA A TURBIDEZ DO DIA 1 DE DEZEMBRO DE 2006.

Fonte: o Autor.

3.2.3 – Implementação dos Índices de Capacidade para o Monitoramento do Processo

Neste programa são gerados, com base na variabilidade dos dados, os limites superior e inferior de controle. Automaticamente, são calculados os valores dos índices de capacidade do processo (Cp, Cpk e Cpk_m) tendo como referência a portaria e também os limites impostos pela empresa (faixa de operação). Ao final do dia, é mostrado um resumo

estatístico com informações como quantidade de amostras, quantas amostras saíram dos limites da portaria, quantas amostras saíram da faixa de operação e quantos pontos saíram dos limites de controle considerando três desvios padrões acima e abaixo da média.

O programa indica se o processo é capaz através do índice da capacidade potencial e indica também se o processo está ou não centrado do ponto médio das especificações

CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE CONSIDERANDO ESPECIFICAÇÕES EM PORTARIA				
Especificações em Portaria				
Limite Superior de Especificação	1	Capacidade Potencial Cp	2.46	Capacidade Real Cpk 1.56
Limite Inferior de Especificação	0	O processo é CAPAZ		Capacidade Efetiva Cpkm 0.85
O processo está descentrado do ponto médio das especificações				
CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE CONSIDERANDO ESPECIFICAÇÕES DA EMPRESA				
Especificações Internas da Empresa				
Limite Superior de Especificação	0.8	Capacidade Potencial Cp	1.37	Capacidade Real Cpk 1.56
Limite Inferior de Especificação	0	O processo é CAPAZ		Capacidade Efetiva Cpkm 1.24
O processo está descentrado do ponto médio da faixa de operação				
RESUMO ESTATÍSTICO DO PROCESSO DO DIA				
Número de Amostras no Dia	23			
Número de Pontos Fora dos Limites da Portaria	0			
Número de Pontos Fora da Faixa de Operação	0			
Número de Pontos Fora dos 3 Sigmas	1			

FIGURA 18 – CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO E RESUMO ESTATÍSTICO DO PROCESSO PARA A TURBIDEZ DO DIA 1 DE DEZEMBRO DE 2006.

Fonte: o Autor.

Maiores detalhes do programa estão apresentados no manual presente nos anexos deste trabalho.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Resultados do Histórico

4.1.1 – Índices de Capacidade do Processo para a Turbidez da Água Tratada

Os dados históricos da estação de tratamento da Vila C de Foz do Iguaçu geraram para a característica turbidez os seguintes valores mensais:

TABELA 16 - ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA. PERÍODO DE 2004 A 2006.

<i>Mês/Ano</i>	<i>Valor Cp</i>	<i>Valor Cpk</i>	<i>Valor Cpkm</i>	<i>Média</i>	<i>Desv. Pad</i>
jan/04	1,90	0,98	0,65	0,5942	0,0701
fev/04	2,37	1,50	0,85	0,5471	0,0564
mar/04	2,52	1,41	0,72	0,5771	0,0528
abr/04	2,43	1,31	0,70	0,5837	0,0549
mai/04	2,46	1,80	1,10	0,5079	0,0542
jun/04	1,86	1,06	0,72	0,5707	0,0718
jul/04	2,45	1,10	0,59	0,6202	0,0544
ago/04	3,60	1,12	0,48	0,6759	0,0371
set/04	2,29	1,65	1,06	0,5118	0,0582
out/04	2,53	2,17	1,72	0,4569	0,0527
nov/04	3,44	1,59	0,61	0,6153	0,0388
dez/04	3,23	1,96	0,82	0,5573	0,0412
jan/05	1,93	1,52	1,22	0,4843	0,0691
fev/05	2,42	1,44	0,78	0,5618	0,0552
mar/05	2,17	1,06	0,63	0,6035	0,0616
abr/05	1,87	0,90	0,61	0,6081	0,0712
mai/05	2,09	1,15	0,70	0,5797	0,0639
jun/05	2,19	1,17	0,68	0,5862	0,0610
jul/05	2,21	1,17	0,68	0,5872	0,0604
ago/05	2,82	1,67	0,78	0,5632	0,0473
set/05	2,60	2,06	1,37	0,4824	0,0513
out/05	2,80	1,34	0,63	0,6077	0,0477
nov/05	3,03	0,97	0,48	0,6726	0,0440
dez/05	2,78	2,11	1,25	0,4957	0,0480
jan/06	2,94	2,39	1,53	0,4745	0,0454
fev/06	2,82	1,94	0,99	0,5258	0,0472
mar/06	3,00	2,27	1,25	0,4969	0,0445
abr/06	2,98	1,13	0,53	0,6485	0,0447
mai/06	2,89	1,26	0,58	0,6253	0,0462
jun/06	2,45	1,70	1,00	0,5219	0,0545
jul/06	2,24	1,65	1,10	0,5062	0,0595
ago/06	3,60	3,03	1,82	0,4633	0,0370
set/06	2,30	2,29	2,30	0,3973	0,0579
out/06	1,60	1,31	1,21	0,4714	0,0834
nov/06	1,74	1,66	1,70	0,3824	0,0766
dez/06	2,40	2,21	2,09	0,4311	0,0556

Fonte: O Autor

Para cálculo dos índices de capacidade do processo, foram considerados os limites: superior e o inferior, definidos pela Sanepar. Estatisticamente, os números mostram realmente a capacidade da empresa em produzir água potável atendendo seus objetivos. Foram gerados gráficos anuais para melhor compreensão do comportamento dos índices.

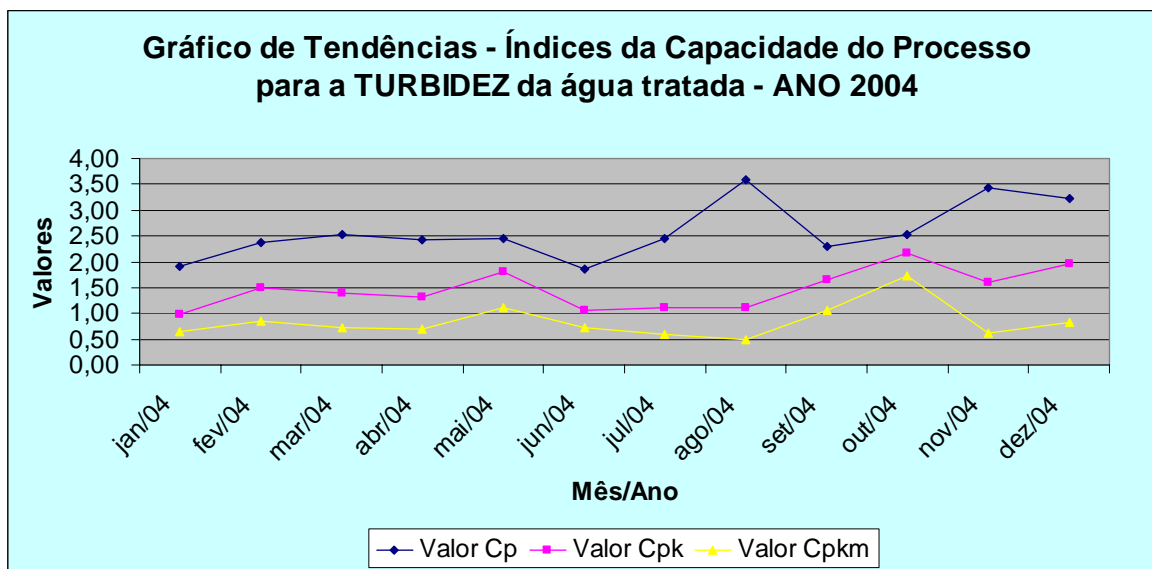


FIGURA 19 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

Durante o ano de 2004, o mês de agosto apresentou $C_p = 3,60$ implicando em um desvio padrão baixo, porém o processo esteve descentrado da média das especificações, pois apresentou índice de $C_{pkm} = 0,48$, o menor do ano. A Figura 23 mostra o comportamento diário das amostras durante agosto de 2004. Vale salientar que, neste mês, todos os dias tiveram média acima da média histórica que foi de $0,54uT$, representado turbidez acima do centro das especificações. Essa elevação da turbidez pode ser justificada pela ocorrência de chuvas, sujeira nos filtros ou até mesmo a ausência de tanques de decantação na estação de tratamento. Com as análises do mês de outubro, foi obtido o índice de $C_p = 2,53$ e $C_{pkm} = 1,72$, ou seja, em média as análises diárias situaram-se mais próximas do centro das especificações que é igual a $\frac{(0,8-0)}{2} = 0,4uT$.

A seguir, o gráfico para o ano de 2005:

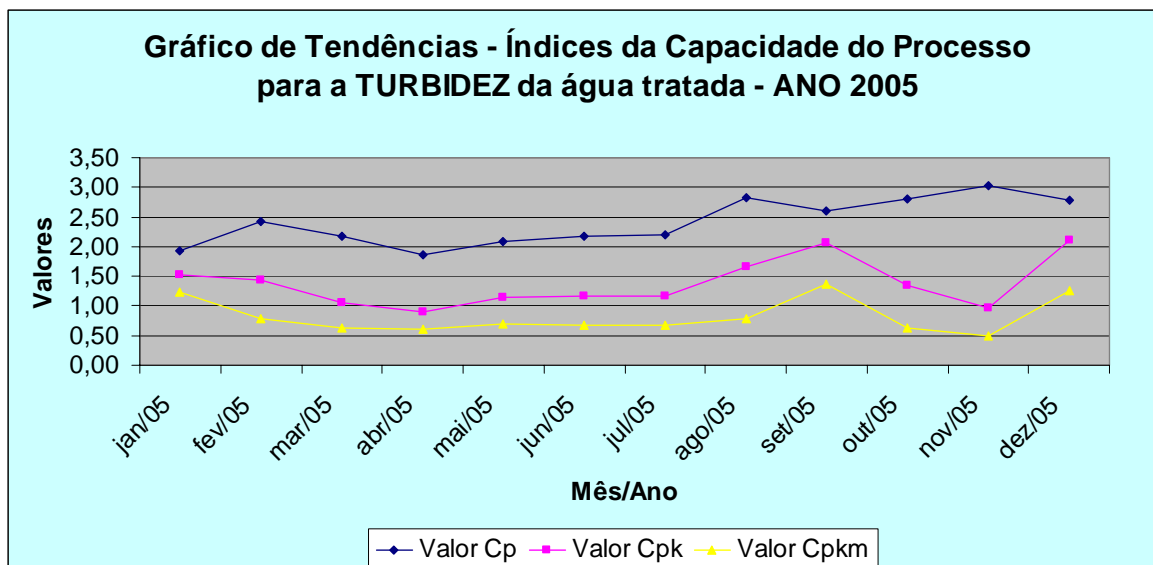


FIGURA 20 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2005 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

Para o ano de 2005, o mês de novembro apresentou $C_p = 3,03$, o maior índice do ano e $C_{pkm} = 0,48$. Isso indica que houve baixa dispersão das análises, mas estas ocorreram fora do ponto médio das especificações da empresa, ou seja, $0,4uT$. Já o mês de setembro apresentou o melhor índice de centralidade, com $C_p = 2,60$ e $C_{pkm} = 1,37$, indicando que o processo foi capaz.

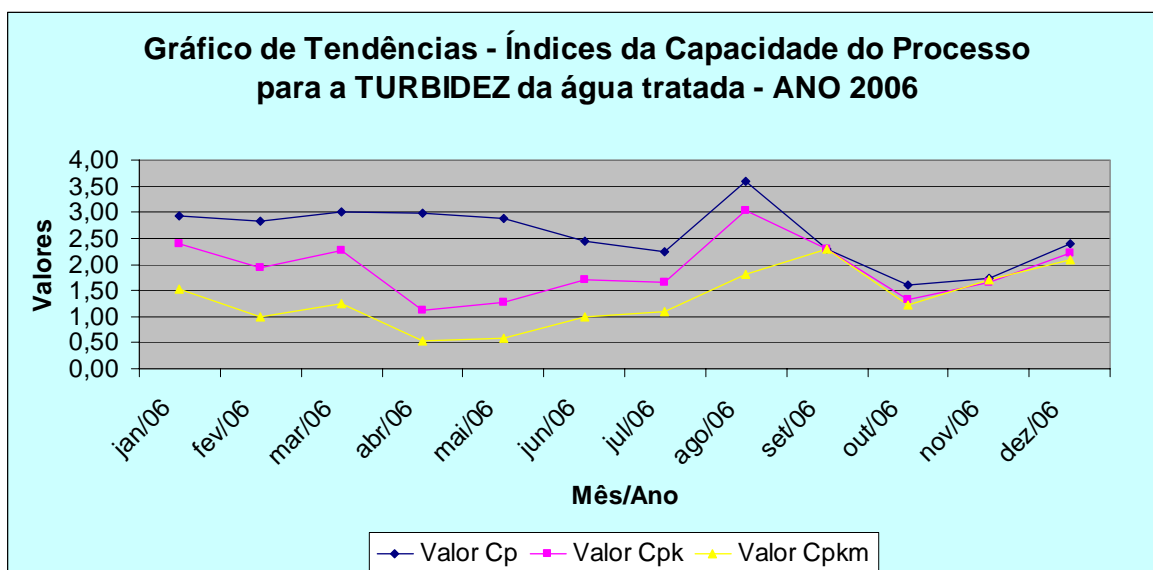


FIGURA 21 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2006 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

O índice que indica melhor centralidade do processo em relação ao ponto médio das especificações foi o mês de setembro, com $C_p = 2,3$; $C_{pk} = 2,29$ e $C_{pkm} = 2,3$, a maior capacidade real.

A seguir, é exibido na Figura 22, o gráfico que mostra a quantidade de amostras mensais que saíram de controle estatístico a cada mês do período 2004 a 2006.

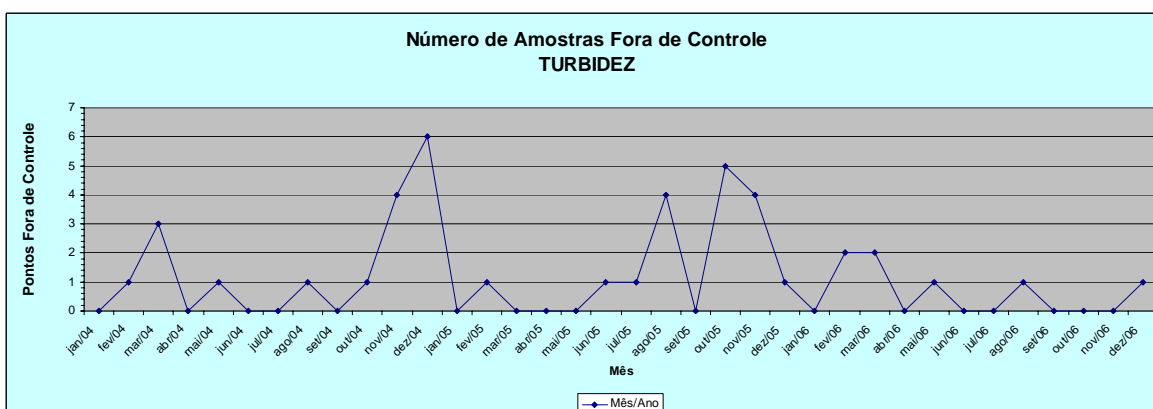


FIGURA 22 - GRÁFICO: NÚMERO DE AMOSTRAS FORA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ

Fonte: O Autor

Conforme o gráfico da Figura 22 é possível observar que seis dias no mês de dezembro de 2004 saíram do controle estatístico, ou seja, ultrapassaram o limite inferior de controle. Apesar de estar fora de controle estatístico, o índice de capacidade $C_p = 3,23$

acusa alto valor devido ao desvio padrão baixo, conforme consta na TABELA 16, porém, o índice $C_{pkm} = 0,82$ acusa valor mais baixo por estar descentrado dos limites das especificações da empresa, cujos valores estão mais próximos da faixa de operação. A tendência dos valores é para o limite inferior, que, do ponto de vista sanitário é mais viável, pois quanto menor a turbidez da água tratada, melhor. Há, também, cinco dias do mês de outubro de 2005 que saíram de controle estatístico. Neste mês, é possível notar o aumento da turbidez no decorrer dos dias, conforme Figura 24.

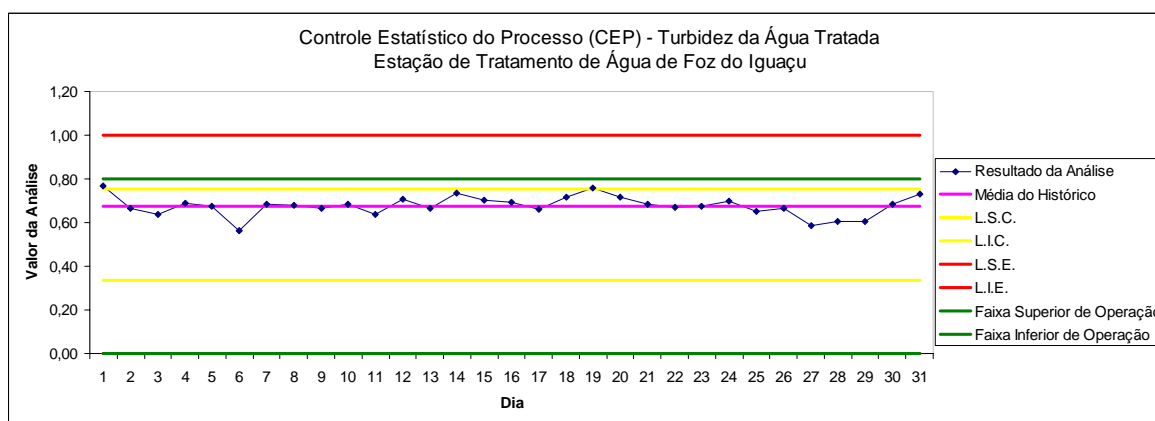


FIGURA 23 - CARTA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA DO MÊS DE AGOSTO DE 2004.

Fonte: O Autor

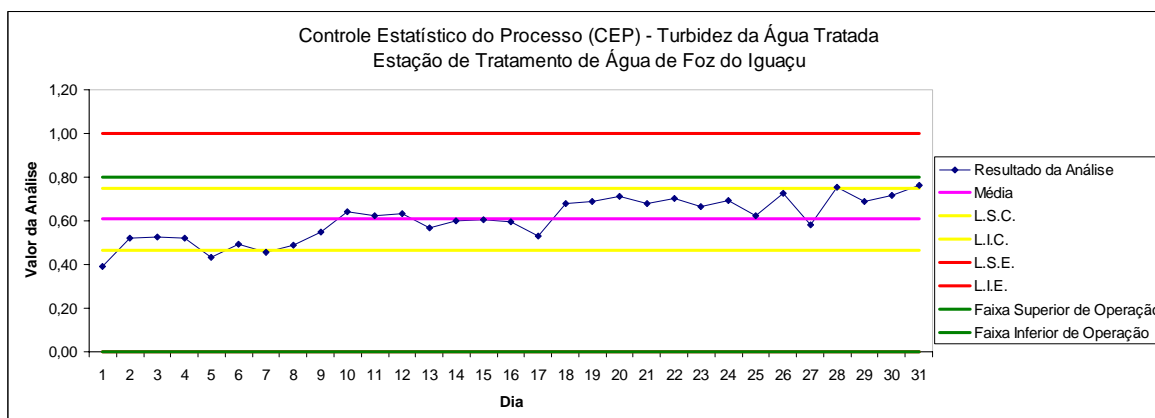


FIGURA 24 - CARTA DE CONTROLE PARA A TURBIDEZ DA ÁGUA TRATADA DO MÊS DE OUTUBRO DE 2005

Fonte: O Autor

Em resumo, dos 1096 dias analisados em relação à turbidez, 41 destes saíram de controle estatístico. Foram calculados os índices de capacidade do processo para processo descentrado, porém algumas variáveis não possuem limite inferior estabelecido na Portaria, uma vez que quando menor o valor obtido é melhor, como é o caso da turbidez. Enquanto o ponto médio da faixa de operação foi 0,4uT, estatisticamente viável, o valor médio

obtido no triênio esteve acima (0,54uT) comprovando que os índices obtidos indicam que o processo esteve descentrado. Isso gera um valor de Cpk e Cpkm baixo, já que a média da variável não está centrada entre a faixa de operação. Como a faixa de operação é mais estreita que os limites da Portaria 518 do Ministério da Saúde, a Sanepar procura manter as análises dentro desta faixa, o que representa segurança para a saúde da população. Estatisticamente, os limites de controle são menos toleráveis que a faixa de operação, implicando na existência de alguns pontos fora do controle estatístico.

4.1.2 – Índices de Capacidade do Processo para o pH da Água Tratada

Os valores obtidos para os índices de capacidade do processo de produção de água potável para a característica pH são informados na TABELA 17:

TABELA 17- ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO PARA O PH DA ÁGUA TRATADA.
PERÍODO DE 2004 A 2006.

Mês/Ano	Valor Cp	Valor Cpk	Valor Cpkm	Média	Desv. Pad
jan/04	3,73	1,23	0,49	6,7452	0,1206
fev/04	7,29	2,19	0,48	6,7066	0,0617
mar/04	11,20	3,29	0,47	6,6961	0,0402
abr/04	3,63	1,19	0,49	6,7423	0,1238
mai/04	8,41	2,01	0,44	6,6229	0,0535
jun/04	9,20	2,09	0,43	6,6067	0,0489
jul/04	6,12	1,41	0,43	6,6110	0,0736
ago/04	6,29	1,71	0,46	6,6658	0,0715
set/04	10,82	2,75	0,45	6,6433	0,0416
out/04	5,60	1,54	0,46	6,6706	0,0804
nov/04	7,36	1,82	0,44	6,6347	0,0611
dez/04	5,86	1,38	0,44	6,6190	0,0768
jan/05	8,23	1,82	0,43	6,5990	0,0547
fev/05	10,23	2,31	0,43	6,6050	0,0440
mar/05	6,56	1,63	0,44	6,6345	0,0686
abr/05	3,88	1,15	0,47	6,6983	0,1159
mai/05	8,14	2,18	0,45	6,6606	0,0553
jun/05	4,66	1,56	0,50	6,7514	0,0967
jul/05	6,76	2,50	0,53	6,8004	0,0666
ago/05	6,12	2,20	0,52	6,7861	0,0736
set/05	4,86	1,96	0,55	6,8437	0,0926
out/05	7,81	2,58	0,50	6,7465	0,0576
nov/05	11,15	3,13	0,46	6,6783	0,0404
dez/05	12,28	3,64	0,47	6,6997	0,0366
jan/06	12,78	3,91	0,48	6,7127	0,0352
fev/06	9,86	3,28	0,50	6,7483	0,0456
mar/06	9,22	3,35	0,52	6,7911	0,0488
abr/06	12,34	3,63	0,47	6,6971	0,0365
mai/06	8,46	2,31	0,46	6,6690	0,0532
jun/06	10,87	3,08	0,46	6,6825	0,0414
jul/06	11,25	3,09	0,46	6,6709	0,0400
ago/06	7,78	2,30	0,47	6,6991	0,0578
set/06	6,50	1,94	0,47	6,7021	0,0692
out/06	5,36	1,75	0,49	6,7404	0,0834
nov/06	6,98	2,39	0,51	6,7618	0,0766
dez/06	6,59	2,24	0,50	6,7584	0,0556

Fonte: O Autor

Conforme a TABELA 17 nota-se que os valores do Cpkm são muito baixos. Isto significa que, estatisticamente, o processo está operando fora do ponto médio das especificações (centro/alvo). Para o pH esse alvo é dado por $\frac{9,5+5,4}{2} = 7,45$, porém, do ponto de vista sanitário, este alvo pode ser questionado. Para estes valores, foram gerados os gráficos anuais contendo os três índices conforme Figura 25 a seguir:

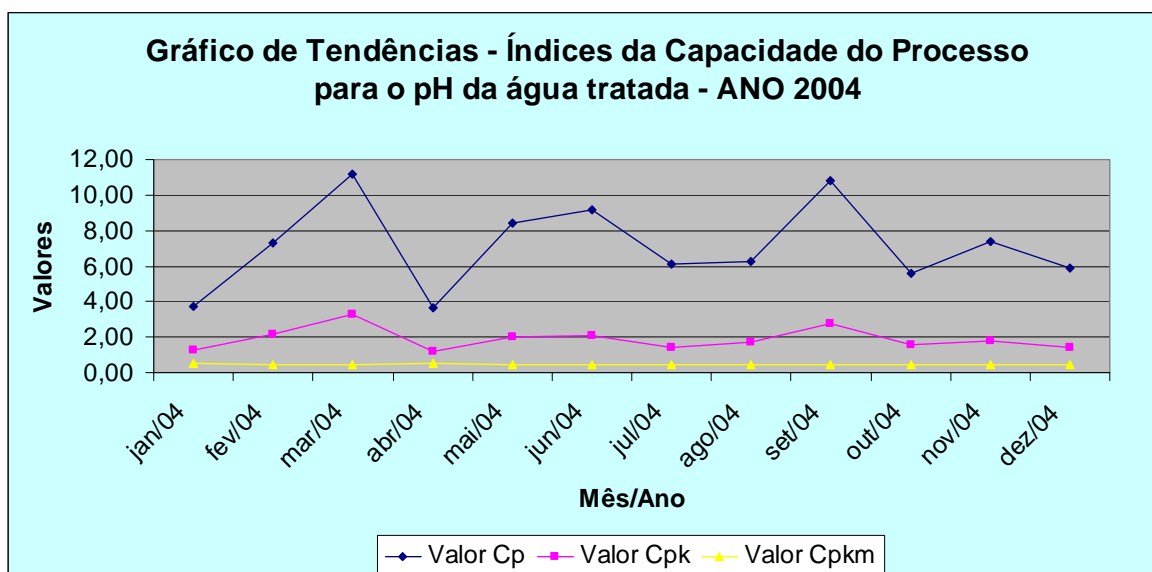


FIGURA 25 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O PH DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

O gráfico da Figura 25 mostra um maior índice Cp para os meses de março e setembro, cujos meses tiveram menor desvio padrão, enquanto o menor índice Cp para o pH da água tratada foi em janeiro e abril de 2004, devido ao maior desvio padrão. Claramente, o gráfico mostra que a capacidade real do processo está muito abaixo do admissível, ou seja, $C_{pkm} < 1$.

Para o ano de 2005 foram obtidos:

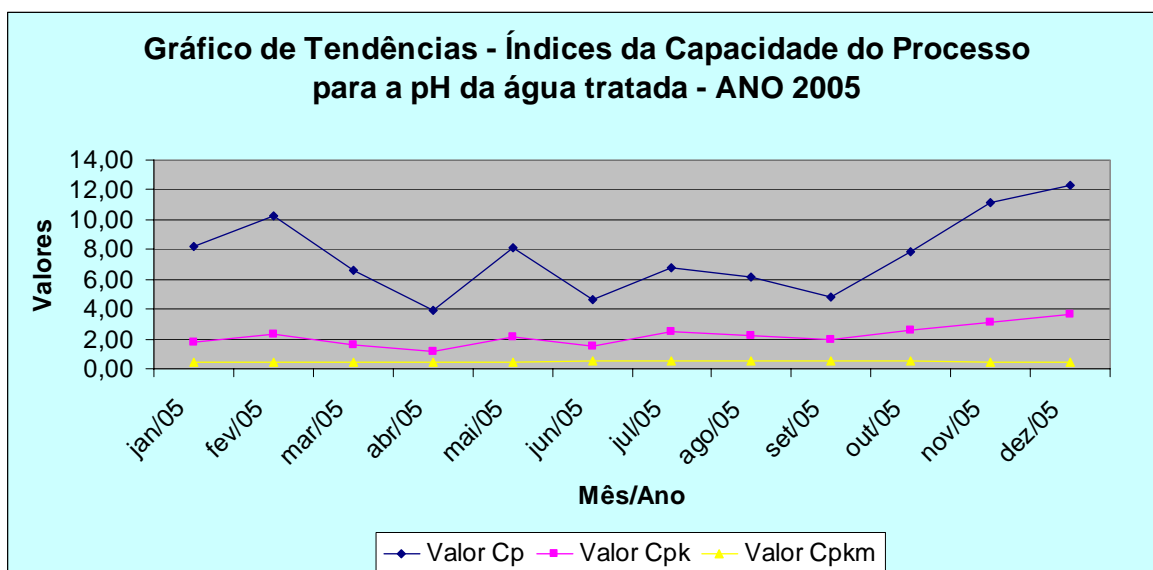


FIGURA 26 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O PH DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2005 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

O gráfico da Figura 26 mostra os maiores índices de capacidade para a turbidez da água tratada para os meses de fevereiro, novembro e dezembro, enquanto os menores índices de capacidade para a turbidez foram os de abril, julho e setembro de 2005, sendo que os maiores índices de Cp foram obtidos devido a menor variabilidade, enquanto os menores índices de Cp devido à alta dispersão.

Para o ano de 2006 os resultados estão na Figura 27:

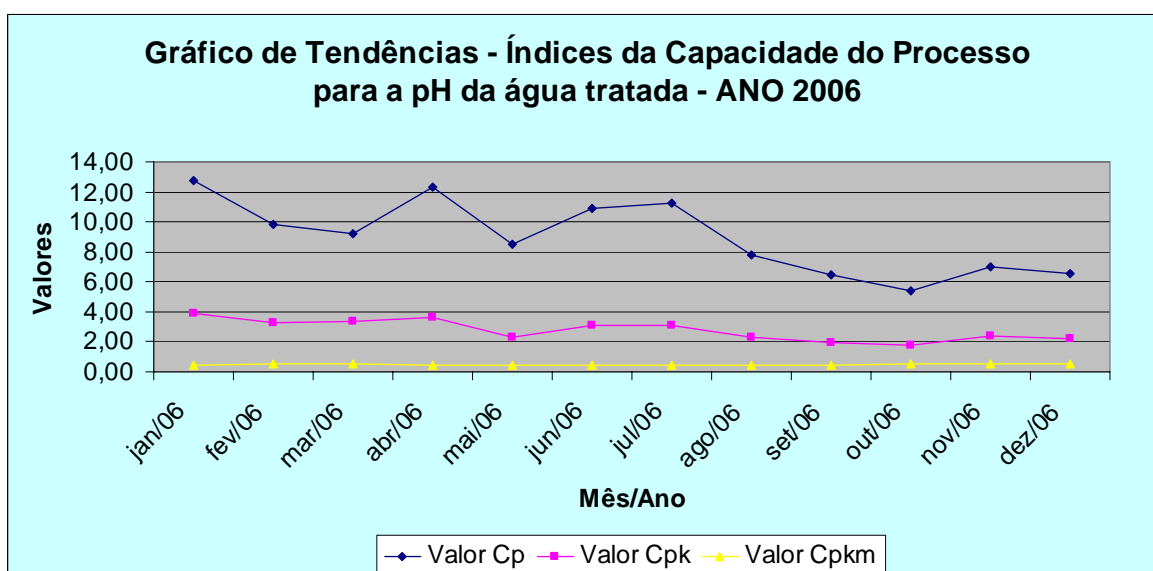


FIGURA 27 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O PH DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2006 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

Conforme gráfico da Figura 27, os maiores índices de capacidade para a turbidez da água tratada durante os meses de janeiro e abril, enquanto os menores índices para a turbidez ocorreram em setembro, outubro e dezembro de 2006.

A seguir, é exibido na Figura 28, o gráfico que mostra a quantidade de amostras mensais que saíram do controle a cada mês do período compreendido entre 2004 e 2006.

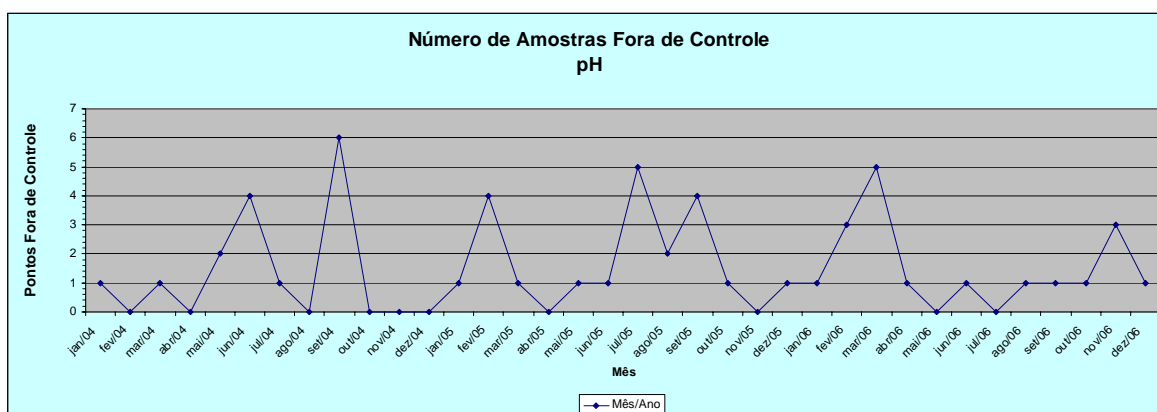


FIGURA 28 - GRÁFICO: NÚMERO DE AMOSTRAS FORA DE CONTROLE PARA O PH.

Fonte: O Autor

Conforme o gráfico da Figura 28 é possível observar que 6 dias no mês de setembro de 2004 saíram de controle estatístico, ou seja, ultrapassaram os limite superior ou inferior de controle. Para este mesmo mês foram detectados 5 dias consecutivos com medições acima da média do mês e 5 dias consecutivos abaixo da média do mês, implicando na atuação de alguma causa especial de variação.

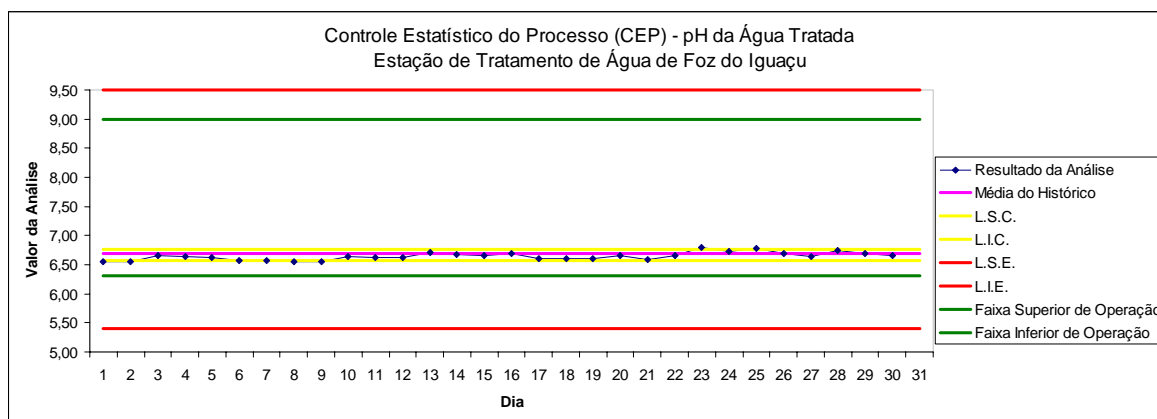


FIGURA 29 - CARTA DE CONTROLE PARA O PH DA ÁGUA TRATADA PARA O MÊS DE SETEMBRO DE 2004.

Fonte: O Autor

Em resumo, de 1096 dias de medições de turbidez da água tratada, 23 saíram de controle estatístico, porém não representaram risco algum à saúde da população. Vale

salientar que durante os três anos o valor médio para o pH foi de 6,7. Uma vez que houve valores de C_p altos para o pH, indicando baixa variabilidade, a aplicação detectou que o pH encontra-se descentralizado em relação aos limites da portaria e também em relação à faixa de operação apresentando baixos valores para C_{pk} e C_{pkm} .

4.1.3 – Índices de Capacidade do Processo para o Cloro da Água Tratada

A TABELA 18 a seguir mostra, mensalmente, os valores obtidos para os índices de capacidade para a característica cloro da água tratada:

TABELA 18 - ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO PARA O CLORO DA ÁGUA TRATADA.
PERÍODO DE 2004 A 2006.

<i>Mês/Ano</i>	<i>Valor C_p</i>	<i>Valor C_{pk}</i>	<i>Valor C_{pkm}</i>	<i>Média</i>	<i>Desv. Pad</i>
jan/04	5,24	5,07	4,66	1,3229	0,0445
fev/04	4,48	4,38	4,31	1,3145	0,0521
mar/04	7,71	7,71	7,71	1,2998	0,0302
abr/04	6,11	6,10	6,11	1,2997	0,0382
mai/04	4,45	4,20	3,55	1,3397	0,0524
jun/04	7,08	6,53	3,66	1,2454	0,0330
jul/04	5,99	5,59	3,83	1,2531	0,0390
ago/04	7,03	6,69	4,91	1,2660	0,0332
set/04	4,92	4,45	2,85	1,2331	0,0475
out/04	5,12	4,60	2,74	1,2280	0,0456
nov/04	6,24	5,94	4,67	1,2668	0,0374
dez/04	5,14	4,60	2,70	1,2263	0,0454
jan/05	5,01	4,49	2,70	1,2273	0,0465
fev/05	4,83	4,70	4,50	1,2812	0,0483
mar/05	4,18	4,02	3,79	1,2742	0,0559
abr/05	4,79	4,53	3,74	1,2611	0,0487
mai/05	5,25	5,15	5,03	1,2867	0,0444
jun/05	4,35	3,86	2,45	1,3790	0,0536
jul/05	6,75	5,31	1,52	1,4499	0,0346
ago/05	4,42	3,97	2,65	1,3707	0,0528
set/05	3,62	3,40	3,03	1,3422	0,0645
out/05	4,02	3,52	2,21	1,3882	0,0580
nov/05	5,84	4,98	2,11	1,4029	0,0399
dez/05	4,74	3,81	1,60	1,4374	0,0492
jan/06	6,20	5,07	1,75	1,4276	0,0376
fev/06	6,83	5,48	1,63	1,4387	0,0341
mar/06	6,37	4,99	1,49	1,4518	0,0367
abr/06	5,37	4,79	2,68	1,3753	0,0434
mai/06	6,80	5,97	2,54	1,3851	0,0343
jun/06	7,18	5,74	1,62	1,4404	0,0325
jul/06	4,47	4,20	3,45	1,3432	0,0522
ago/06	5,77	4,91	2,08	1,4045	0,0404
set/06	7,75	6,60	2,16	1,4038	0,0301
out/06	4,54	3,82	1,90	1,4118	0,0514
nov/06	5,06	4,51	2,61	1,3768	0,0461
dez/06	4,84	4,39	2,89	1,3650	0,0482

Fonte: O Autor

Graficamente estão representados os índices da capacidade do processo na Figura 30 a seguir:

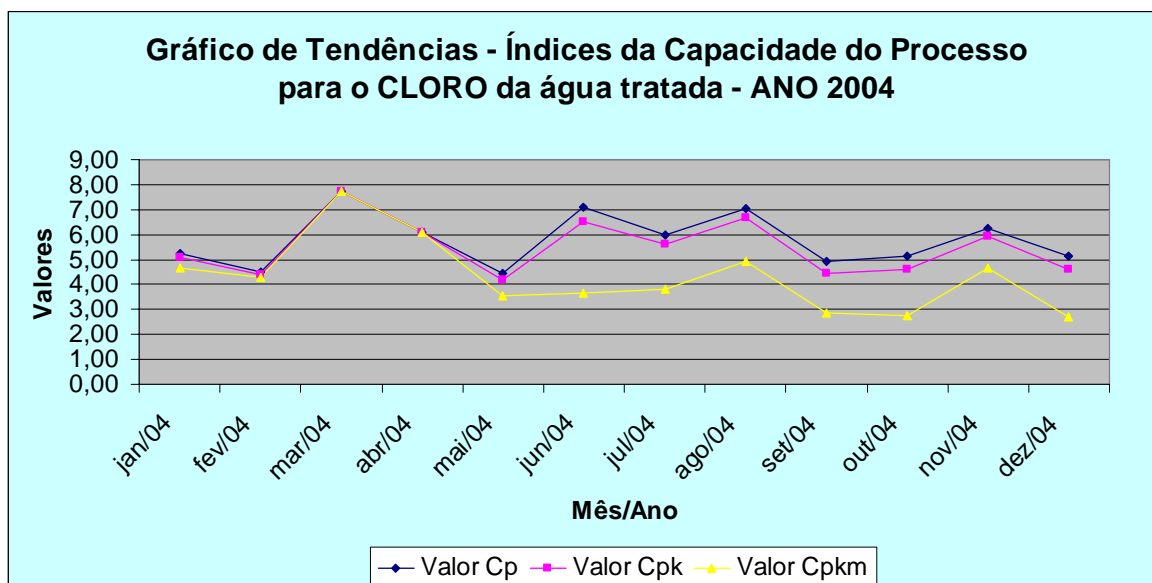


FIGURA 30 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O CLORO DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

O gráfico da Figura 30 mostra o maior índice de capacidade de Cp, Cpk e Cpkm para o mês de março cujos valores foram aproximadamente 7,71mg/l. Isso indica a mais alta centralidade do processo em relação ao ponto médio da faixa de operação, dado estatisticamente por $\frac{2,0 + 0,6}{2} = 1,3 \text{ mg/l}$, além do mais baixo desvio padrão do ano conforme TABELA 18. É importante salientar que, do ponto de vista sanitário, esse ponto médio 1,3mg/l pode ser questionado. O mesmo ocorre para o mês seguinte. Em abril, os três apresentaram maior descentralização e desvio padrão durante o ano de 2004.

Para o ano de 2005 foi gerado o gráfico:

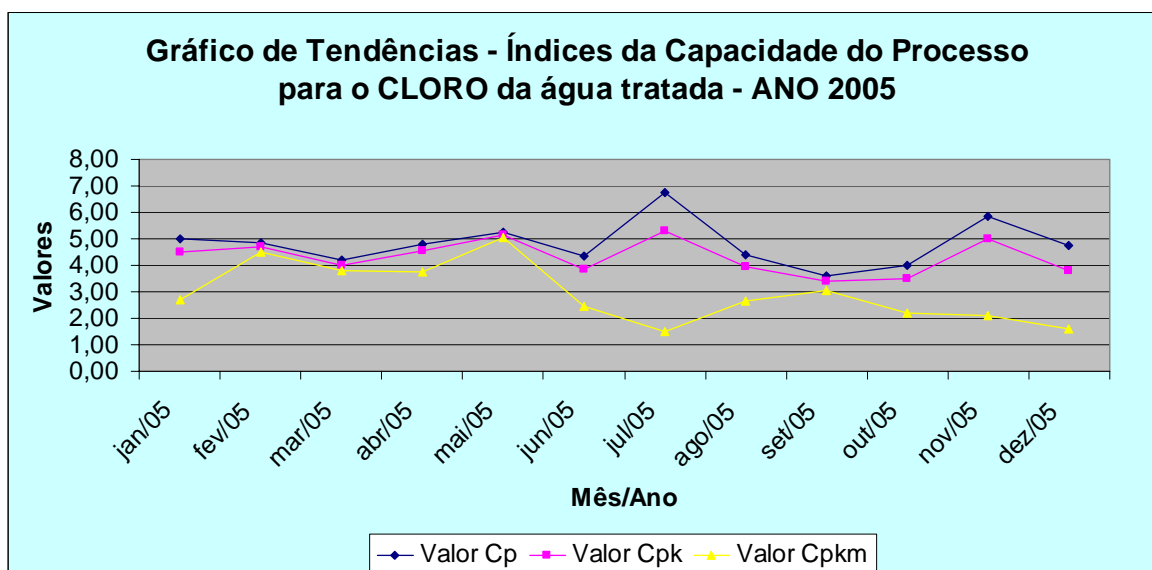


FIGURA 31 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O CLORO DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2005 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

Já o gráfico da Figura 31 mostra o maior índice de Cpkm para maio devido ao baixo desvio padrão em conjunto com a melhor centralização dos valores no ponto médio das especificações da empresa. O mês de menor desvio padrão foi junho implicando no mais alto índice de Cp, porém seu menor índice de Cpkm sugere falta de centralidade e desvio padrão elevado, enquanto o mês de dezembro apresentou novamente baixo índice de Cpkm.

Para 2006, os índices são representados graficamente:

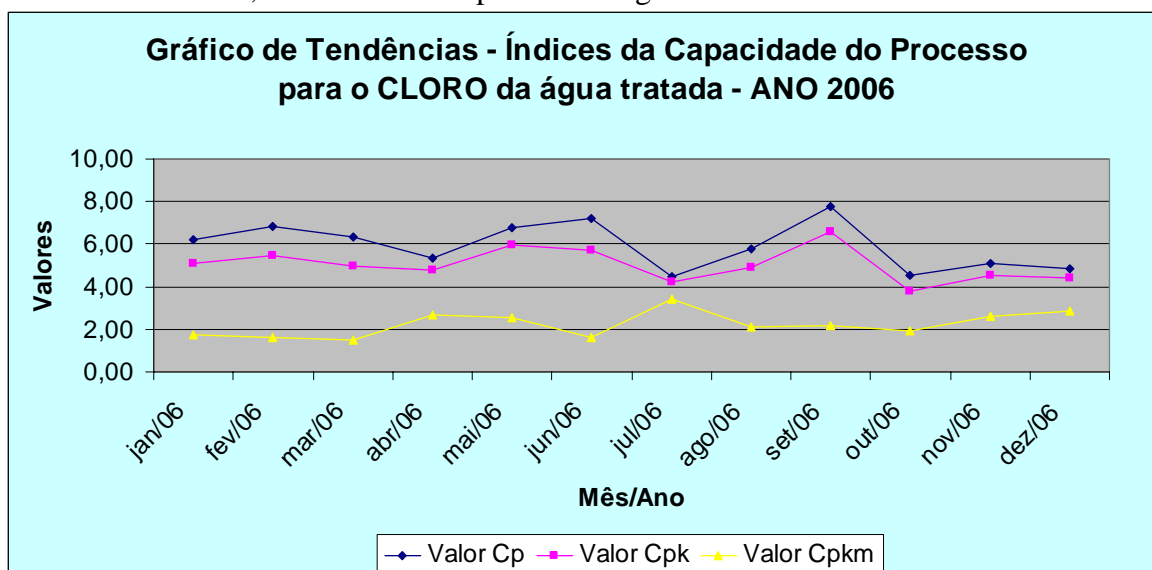


FIGURA 32 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O CLORO DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2006 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

Em 2006, o gráfico está representado pela Figura 32 e mostra que o mês de setembro teve o menor desvio padrão enquanto que durante o mês de junho o processo esteve mais bem centrado no ponto médio das da faixa de operação. O mês de março teve um menor índice de C_{pk} o que pode ser explicado pela descentralização em relação à faixa de operação.

A seguir, é exibido na Figura 33, o gráfico que mostra a quantidade de amostras mensais que saíram do controle a cada mês do período compreendido entre 2004 e 2006.

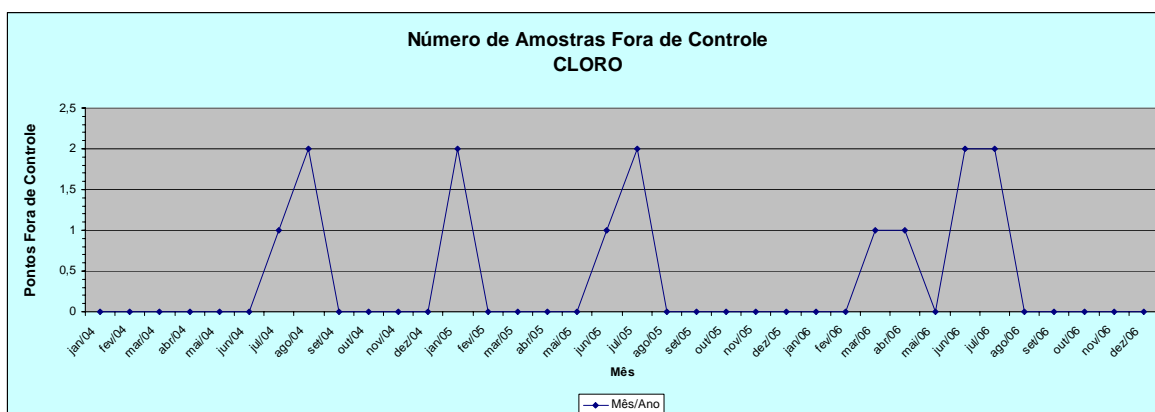


FIGURA 33 - GRÁFICO: NÚMERO DE AMOSTRAS FORA DE CONTROLE PARA O CLORO

Fonte: O Autor

Conforme o gráfico da Figura 34, foram detectados 2 dias no mês de julho de 2005 que saíram de controle estatístico, ou seja, ultrapassaram os limite superior ou inferior de controle. Neste mês, os primeiros 29 dias, a concentração de cloro foi superior a média histórica ($1,34 \text{ mg/l}$), podendo haver atuação de alguma causa especial de variação.

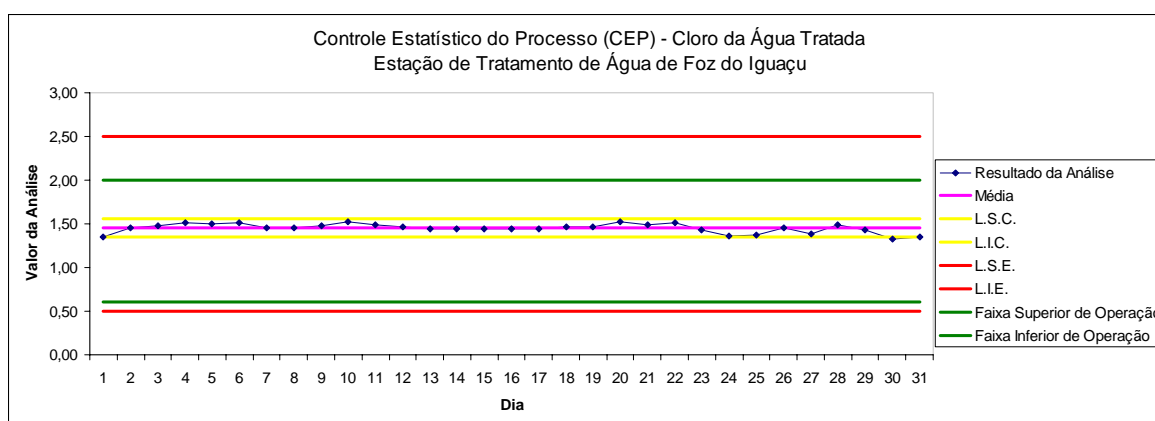


FIGURA 34 - CARTA DE CONTROLE PARA O CLORO DA ÁGUA TRATADA PARA O MÊS DE JULHO DE 2005.

Fonte: O Autor

Estas informações garantem que a qualidade da água, em relação teor de cloro, não representa riscos à saúde da população. Em resumo, de 1096 dias de medições de cloro da água tratada, 14 saíram de controle estatístico. Vale salientar que durante os três anos o valor médio para o cloro foi de $1,34\text{ mg/l}$, cujo valor é aproximadamente o centro da faixa de operação da empresa ($1,3\text{ mg/l}$), implicando em altos valores de Cpk e Cpkm (próximos ao Cp) e mostrando a alta capacidade da empresa em controlar a variabilidade do cloro.

4.1.4 – Índices de Capacidade do Processo para o Residual de Alumínio da Água Tratada

A TABELA 19 mostra, mensalmente, os valores obtidos para os índices de capacidade para a característica residual de alumínio da água tratada:

TABELA 19 - ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO DA ÁGUA TRATADA. PERÍODO DE 2004 a 2006.

<i>Mês/Ano</i>	<i>Valor Cp</i>	<i>Valor Cpk</i>	<i>Valor Cpkm</i>	<i>Média</i>	<i>Desv. Pad</i>
jan/04	1,57	0,68	0,55	0,1250	0,0170
fev/04	1,06	0,51	0,55	0,1220	0,0250
mar/04	1,25	0,56	0,54	0,1243	0,0213
abr/04	1,34	0,63	0,57	0,1224	0,0198
mai/04	1,75	1,35	1,12	0,0983	0,0153
jun/04	1,05	0,51	0,55	0,1210	0,0254
jul/04	1,70	0,57	0,48	0,1333	0,0157
ago/04	1,18	0,34	0,44	0,1369	0,0225
set/04	1,72	0,97	0,70	0,1147	0,0155
out/04	1,42	0,60	0,54	0,1260	0,0188
nov/04	1,30	0,49	0,50	0,1298	0,0205
dez/04	1,32	0,71	0,63	0,1170	0,0203
jan/05	1,62	1,04	0,81	0,1085	0,0165
fev/05	1,19	0,70	0,67	0,1126	0,0225
mar/05	1,35	1,18	1,20	0,0903	0,0197
abr/05	1,79	1,41	1,18	0,0970	0,0149
mai/05	1,33	0,58	0,54	0,1250	0,0201
jun/05	1,77	0,73	0,54	0,1269	0,0151
jul/05	1,76	1,07	0,77	0,1112	0,0152
ago/05	2,20	1,64	1,12	0,1005	0,0121
set/05	2,06	2,02	2,04	0,0818	0,0129
out/05	2,43	1,82	1,17	0,0601	0,0110
nov/05	5,63	0,90	0,40	0,0129	0,0047
dez/05	9,34	1,73	0,41	0,0149	0,0029
jan/06	6,85	0,79	0,38	0,0092	0,0039
fev/06	9,02	1,01	0,38	0,0090	0,0030
mar/06	6,15	0,79	0,38	0,0102	0,0043
abr/06	5,34	0,66	0,38	0,0098	0,0050
mai/06	5,50	0,85	0,39	0,0123	0,0049
jun/06	6,31	0,76	0,38	0,0096	0,0042
jul/06	5,47	0,61	0,37	0,0089	0,0049
ago/06	6,60	0,73	0,37	0,0089	0,0040
set/06	5,63	0,72	0,38	0,0102	0,0047
out/06	6,37	0,76	0,38	0,0096	0,0042
nov/06	4,29	0,71	0,40	0,0132	0,0062
dez/06	2,32	0,85	0,51	0,0293	0,0115

Fonte: O Autor

Graficamente estão representados os índices da capacidade do processo, para o ano de 2004, na Figura 35:

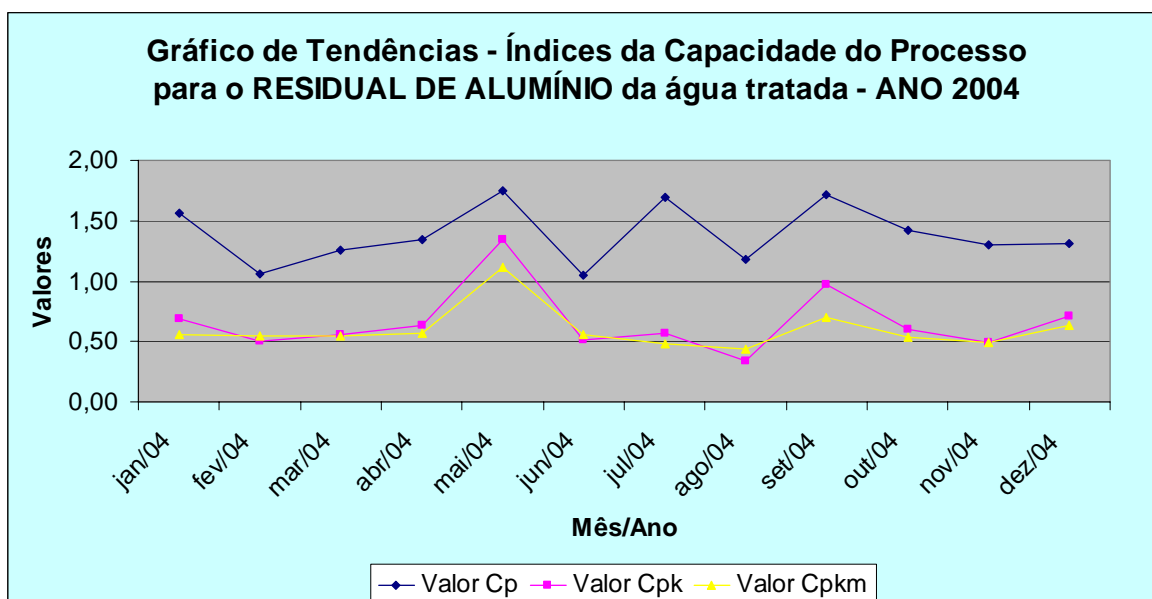


FIGURA 35 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

O gráfico da Figura 35 mostra os maiores índices Cp, Cpk e Cpkm foi para o mês de maio, com valores 1,75; 1,35 e 1,12 respectivamente. É possível observar pela TABELA 19, que durante o mês de maio a média foi mais próxima (0,098 mg/l) ao ponto médio das especificações (0,08 mg/l) juntamente com o baixo desvio padrão. Os menores índices foram durante os meses de fevereiro, junho e agosto, devido à descentralização do processo e a média variabilidade. É importante salientar que, do ponto de vista sanitário, o ponto médio adotado estatisticamente (0,08 mg/l) pode não ser a melhor referência.

O gráfico de tendências para os índices de capacidade referentes ao ano de 2005 é:

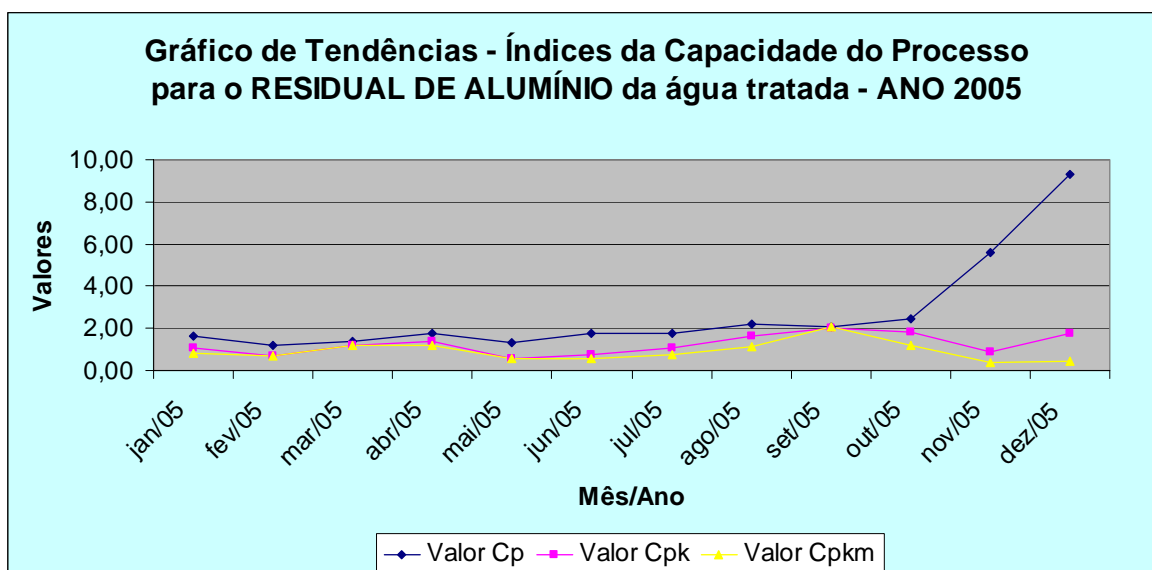


FIGURA 36 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2005 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

Já o gráfico da Figura 36, é possível observar que durante o mês de setembro, o valor do residual de alumínio esteve mais bem centrado ($0,0818 \text{ mg/l}$) no ponto médio da faixa de operação ($0,08 \text{ mg/l}$) além do baixo desvio padrão, implicando em um índice de $C_{pk} = 2,04$, o maior do ano. O mês de fevereiro, além do baixo desvio padrão, o processo tendeu significativamente para o limite superior.

Para 2006, os índices são representados graficamente na Figura 37:

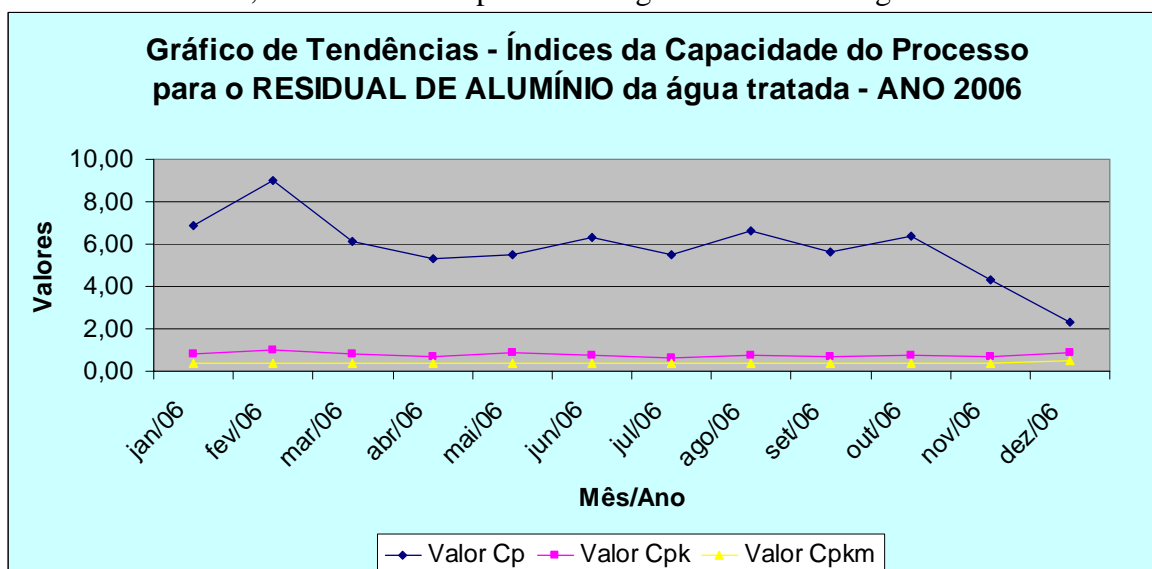


FIGURA 37 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

Em 2006, o gráfico está representado pela Figura 37 e mostra o maior índice de capacidade para o mês de fevereiro, devido à baixa variação durante o mês. O residual de alumínio, durante o ano todo, tendeu para o limite inferior, ou seja, 0 mg/l que indica ausência do produto.

A seguir, é exibido na Figura 38, o gráfico que mostra a quantidade de amostras mensais que saíram do controle a cada mês do período compreendido entre 2004 e 2006.

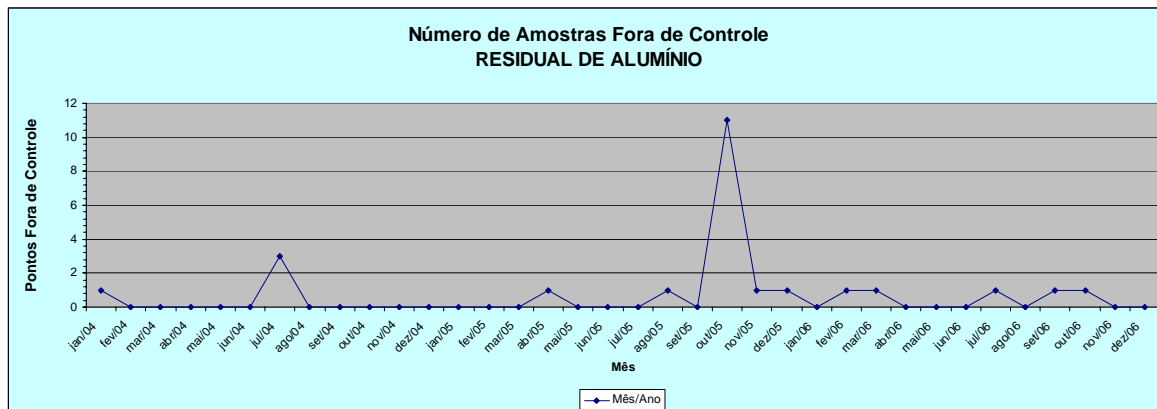


FIGURA 38 - GRÁFICO: NÚMERO DE AMOSTRAS FORA DE CONTROLE PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO

Fonte: O Autor

Conforme o gráfico da Figura 38, foram detectados durante o mês de outubro de 2005 o maior índice de dias fora de controle estatístico, ou seja, 11 dias fora do controle estatístico. Ocorreram em todos os meses, assim como para janeiro de 2006, que os índices de alumínio estiveram abaixo da média histórica conforme a carta de controle da Figura 39:

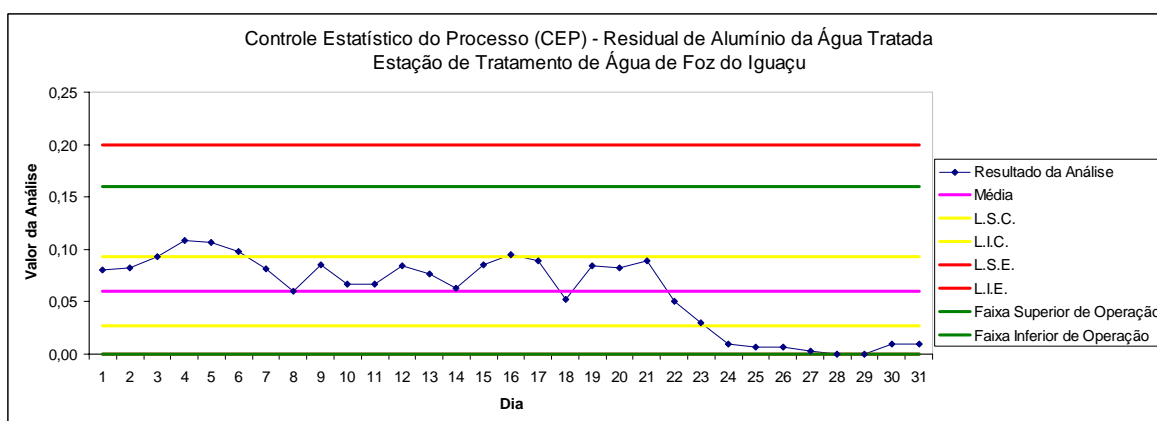


FIGURA 39 - CARTA DE CONTROLE PARA O RESIDUAL DE ALUMÍNIO DA ÁGUA TRATADA - OUTUBRO DE 2005

Fonte: O Autor

A causa desta variação pode ser explicada pela mudança no meios de medição e reagente utilizado pela Sanepar, o qual era produzido pela empresa. Atualmente, a estação utiliza reagentes comercialmente adquiridos com leitura direta no equipamento de medição.

Em resumo, de 1096 dias de medições de residual de alumínio da água tratada, 24 saíram de controle estatístico, baseados no desvio padrão. Porém, é considerado que quanto menor o residual de alumínio na água tratada, menos esta substancia afeta na saúde da população, já que é utilizado como agente coagulante, no início da etapa de tratamento. De modo geral, o residual de alumínio tem se mostrado descentrado do ponto médio da faixa de operação, onde, nos últimos meses do triênio teve uma significativa queda em sua concentração.

4.1.5 – Índices de Capacidade do Processo para Flúor da Água Tratada

A TABELA 20 a seguir mostra, mensalmente, os valores obtidos para os índices de capacidade para a característica flúor da água tratada:

TABELA 20 - ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO PARA O FLÚOR DA ÁGUA TRATADA.
PERÍODO DE 2004 A 2006.

<i>Mês/Ano</i>	<i>Valor Cp</i>	<i>Valor Cpk</i>	<i>Valor Cpkm</i>	<i>Média</i>	<i>Desv. Pad</i>
jan/04	0,79	0,18	0,38	0,7231	0,0423
fev/04	0,74	0,58	0,66	0,7775	0,0449
mar/04	0,77	0,37	0,49	0,7482	0,0434
abr/04	0,88	0,38	0,49	0,7428	0,0378
mai/04	0,83	0,42	0,52	0,7508	0,0403
jun/04	1,26	0,47	0,49	0,7375	0,0264
jul/04	0,81	0,51	0,60	0,7624	0,0410
ago/04	1,06	0,48	0,53	0,7455	0,0315
set/04	1,59	1,21	1,05	0,7763	0,0210
out/04	1,07	1,01	1,06	0,7946	0,0311
nov/04	1,25	1,19	1,23	0,7953	0,0267
dez/04	1,16	1,01	1,05	0,7866	0,0287
jan/05	1,00	0,47	0,54	0,7473	0,0332
fev/05	1,35	0,51	0,50	0,7380	0,0247
mar/05	2,07	0,66	0,48	0,7320	0,0161
abr/05	1,78	1,07	0,76	0,7600	0,0187
mai/05	1,37	0,64	0,57	0,7467	0,0244
jun/05	2,44	-0,04	0,33	0,6985	0,0136
jul/05	1,38	0,64	0,57	0,7468	0,0242
ago/05	1,89	0,60	0,47	0,7316	0,0176
set/05	1,01	0,86	0,92	0,7850	0,0329
out/05	1,45	1,03	0,90	0,7710	0,0230
nov/05	1,44	0,71	0,60	0,7492	0,0232
dez/05	1,07	0,89	0,94	0,7837	0,0313
jan/06	1,43	0,93	0,80	0,7654	0,0234
fev/06	1,94	0,51	0,44	0,7265	0,0172
mar/06	3,36	0,53	0,39	0,7156	0,0099
abr/06	3,91	0,64	0,40	0,7163	0,0085
mai/06	3,14	0,61	0,41	0,7195	0,0106
jun/06	1,29	0,59	0,56	0,7459	0,0259
jul/06	1,57	0,82	0,63	0,7520	0,0212
ago/06	1,70	0,89	0,65	0,7527	0,0197
set/06	1,58	0,83	0,64	0,7525	0,0211
out/06	0,99	0,54	0,59	0,7551	0,0338
nov/06	2,61	0,53	0,41	0,7203	0,0128
dez/06	2,68	0,66	0,44	0,7246	0,0124

Fonte: O Autor

Graficamente estão representados os índices da capacidade do processo na Figura 40 a seguir:

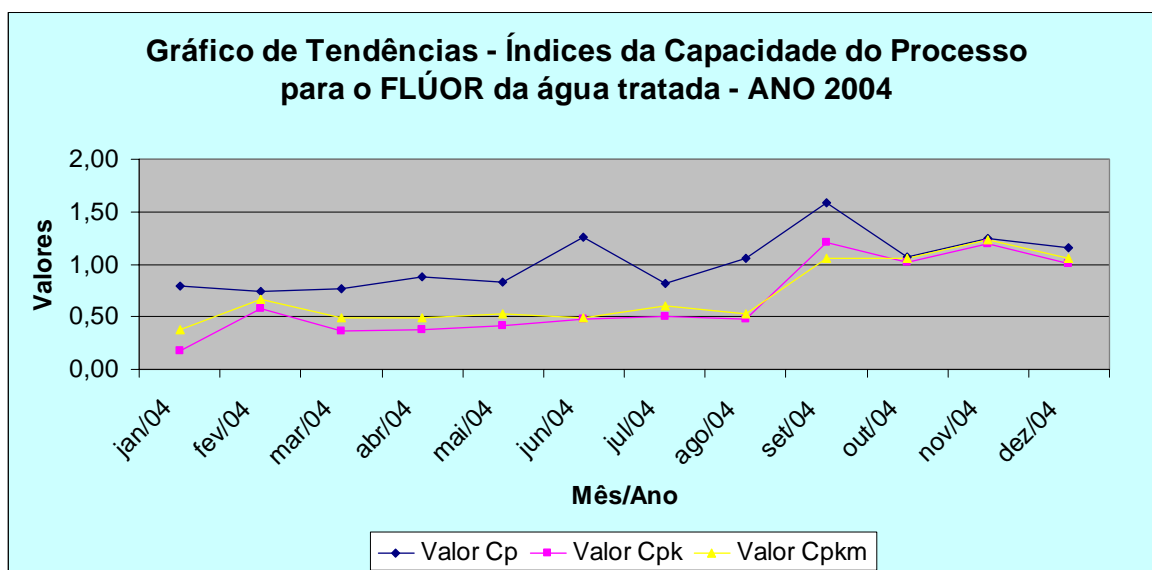


FIGURA 40 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O FLÚOR DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2004 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.

Fonte: O Autor

O gráfico da Figura 40 mostra o maior índice de Cp, Cpk e Cpkm durante o mês de setembro, com baixa variabilidade e resultados situados próximos ao ponto médio da faixa de operação que é dado por $\frac{0,9+0,7}{2} = 0,8mg/l$, conforme TABELA 20. O mês de janeiro apresenta a mais alta descentralização em conjunto com alto desvio padrão resultado em índices baixos.

O gráfico de tendências para os índices de capacidade referentes ao ano de 2005 é:

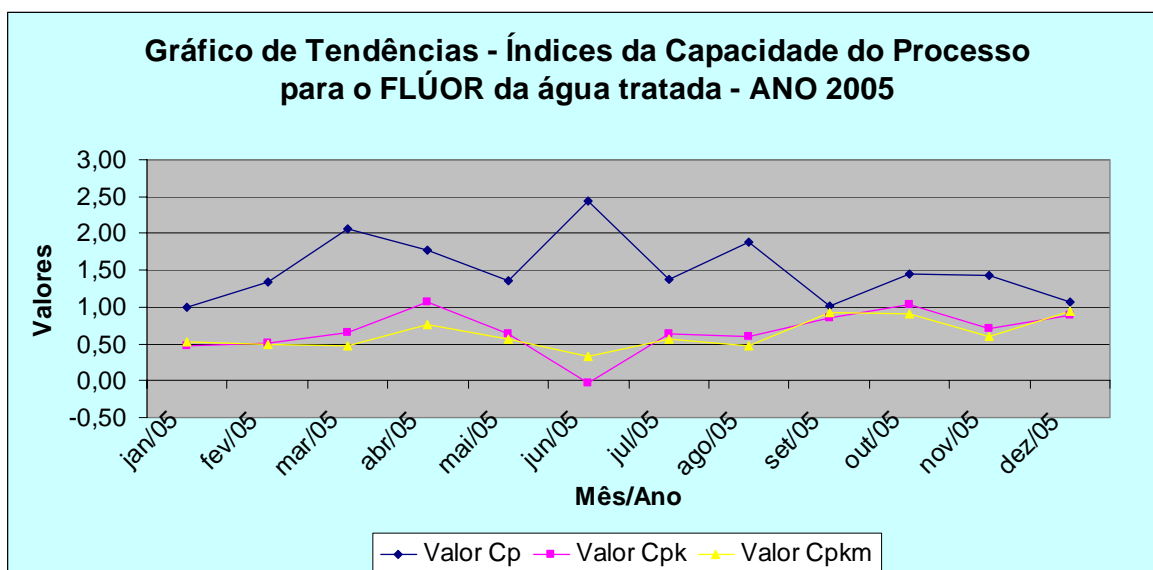


FIGURA 41 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O FLÚOR DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2005 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.
Fonte: O Autor

O gráfico da Figura 41 mostra os maiores índices de Cp para os meses de março e junho cujos valores são de 2,07 e 2,44 respectivamente, podendo ser justificado pelo baixo desvio padrão. Porém, o mês de junho gerou um índice de Cpk = -0,04 (índice negativo) mostrando que o processo esteve atuando fora da faixa de operação inferior ($0,7 \text{ mg/l}$), cuja média mensal foi de $0,6985 \text{ mg/l}$. Todos os valores diários do mês de junho estiveram abaixo da média do triênio.

Para 2006, os índices são representados graficamente na Figura 42:

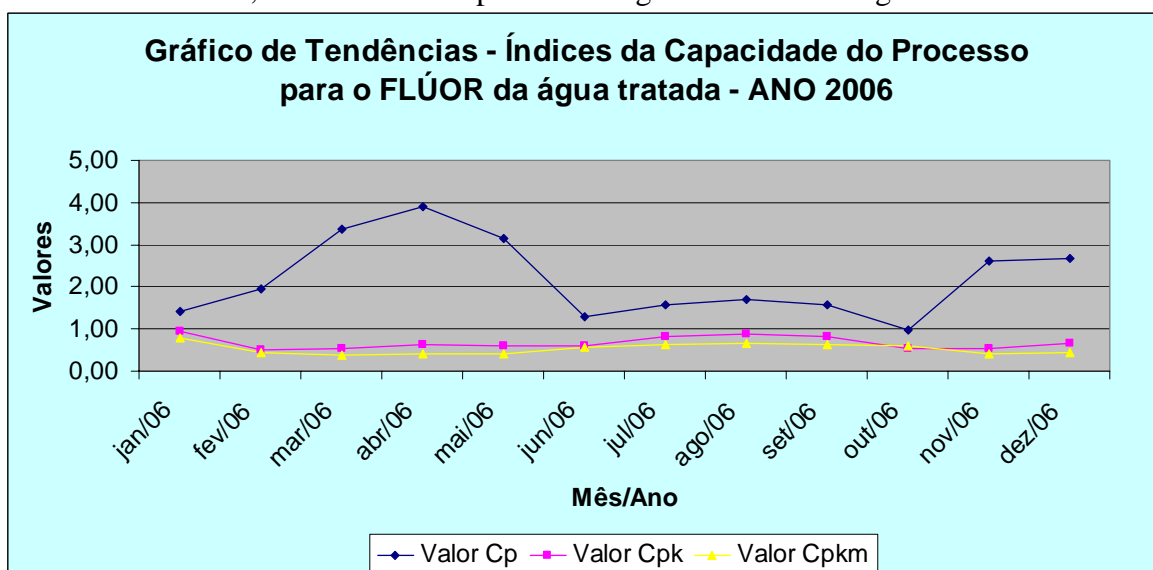


FIGURA 42 - GRÁFICO DE TENDÊNCIA PARA OS ÍNDICES DE CAPACIDADE (CP, CPK E CPKM) PARA O FLÚOR DA ÁGUA TRATADA PARA O ANO DE 2006 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO VILA C, FOZ DO IGUAÇU, PR.
Fonte: O Autor

Em 2006, o gráfico está representado pela Figura 42 e mostra o maior índice de Cp para o flúor no mês de abril com valor igual a 3,91, com a menor variação do ano, mas atuando, em média ($0,72\text{ mg/l}$), abaixo do valor médio da faixa de operação ($0,8\text{ mg/l}$). Vale salientar que, durante o mês de abril, todos os dias tiveram valores inferiores ao valor médio do triênio ($0,75\text{ mg/l}$), o que não representa riscos à saúde da população. Valores acima do limite superior da Portaria 518 geram riscos de fluorose, o que ocasiona alterações ósseas e de esmalte dentário. Valores abaixo dos limites inferiores nada causam, uma vez que o flúor é utilizado para a prevenção da cárie dentária.

A seguir, é exibido na Figura 43, o gráfico que mostra a quantidade de amostras mensais que saíram do controle a cada mês do período compreendido entre 2004 e 2006.

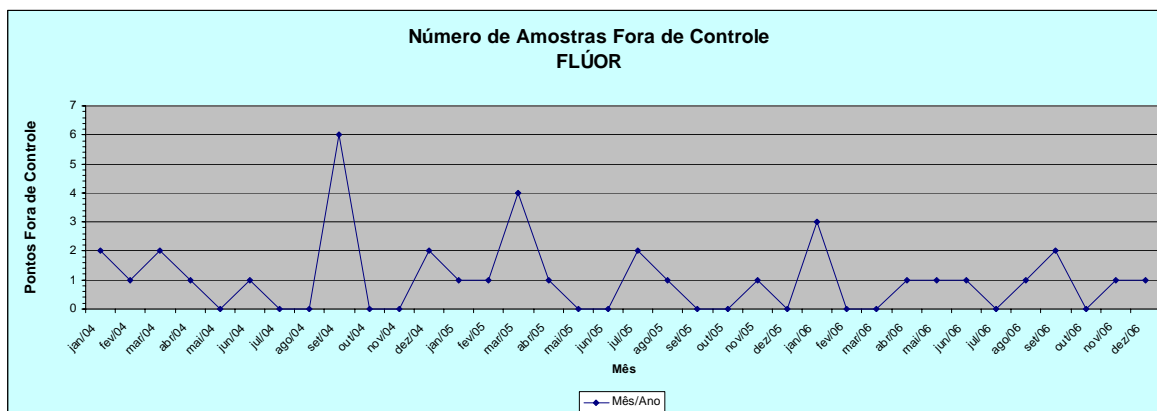


FIGURA 43 - GRÁFICO: NÚMERO DE AMOSTRAS FORA DE CONTROLE PARA O FLÚOR

Fonte: O Autor

Conforme o gráfico da Figura 43, foram detectados 6 dias em que o processo esteve fora de controle, dos quais 2 dias geraram valores abaixo da faixa de operação da empresa. Houve, portanto, alguma causa especial de variação atuando no processo.

Em resumo, de 1096 dias de medições de flúor da água tratada, 37 saíram de controle estatístico. Vale salientar que durante os três anos o valor médio para o flúor foi de $0,75\text{ mg/l}$, enquanto a faixa média de operação está centrada em $0,8\text{ mg/l}$, resultando em baixos índices de Cpk e Cpkm. Vale salientar que o ponto médio da faixa de operação ($0,8\text{ mg/l}$), pode não ser, do ponto de vista sanitário, o melhor valor a ser atingido.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações obtidas neste material sugerem uma revisão, caso seja viável, nas faixas de operação para a característica pH da água tratada devido à alta descentralização do processo. Para a turbidez, as informações obtidas revelam a alta eficiência e controle da variabilidade, apesar de seu valor médio tender ao limite superior de operação. A característica cloro, de maneira geral, é controlada com muita eficiência, pois o processo apresenta baixa variabilidade e está muito bem centrado no ponto médio da faixa de operação. O residual de alumínio é bem controlado no que diz respeito à variação, apesar de estar fora do valor central da faixa de operação. O flúor é a característica de maior dificuldade no controle, uma vez que possui alta variabilidade em relação à faixa permitida e não está centrada no ponto médio da faixa de operação.

A aplicação detectou através das análises históricas alguns pontos, para todas as características, fora de controle estatístico, cujos desvios padrões estimados foram através das amplitudes móveis. Portanto, esta variabilidade não apresenta riscos à saúde da população de Foz do Iguaçu, uma vez que a variabilidade atende os padrões especificados na Portaria 518 do Ministério da Saúde.

Os resultados do programa em uso atualmente e o estudo histórico possibilitarão a empresa uma análise paralela às causas da redução ou aumento da variação durante o processo de tratamento e atuação de forma mais e rápida para identificar e eliminar essas causas, já que dados históricos apenas apontaram: a alta variabilidade ou padrões de variação, processo descentrado em diversas situações, e processo fora de controle estatístico em algumas.

O monitoramento instantâneo das análises é mais eficaz que apenas a análise de dados históricos. Assim, espera-se que as causas que não foram diagnosticadas pelas informações cedidas pela empresa sejam detectadas através do estudo atual. Isso se faz necessário, já que as causas de variações baixas ou comportamentos sistemáticos têm a mesma origem das grandes variações que causam o problema.

APÊNDICE

MANUAL DA APLICAÇÃO PARA MONITORAMENTO DIÁRIO DA QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL

A aplicação desenvolvida em Microsoft Excel monitora as variações para que sejam detectadas as possíveis origens das falhas no processo de produção de água potável. É composta por um menu principal onde se localizam as cinco características para controle individual.

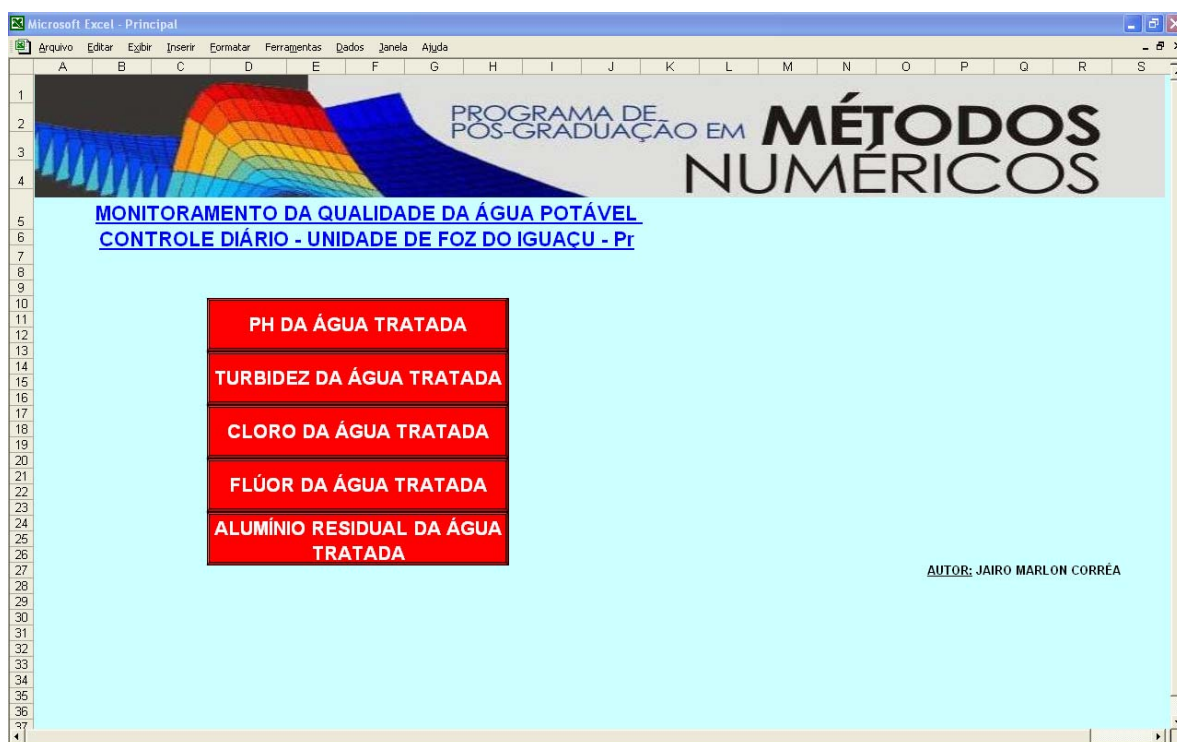


FIGURA 44 - MENU PRINCIPAL DA APLICAÇÃO DAS CARTAS DE CONTROLE

Fonte: O Autor

Ao ser selecionada alguma dessas variáveis, o programa direciona à outra tela, onde o usuário deve selecionar o mês de tratamento.



FIGURA 45 - MENU PH DA APLICAÇÃO PARA AS CARTAS DE CONTROLE

Fonte: O Autor

Seleciona-se então, o mês e na tela seguinte seleciona-se o dia para o qual serão cadastrados os valores das amostras, logo após a coleta.

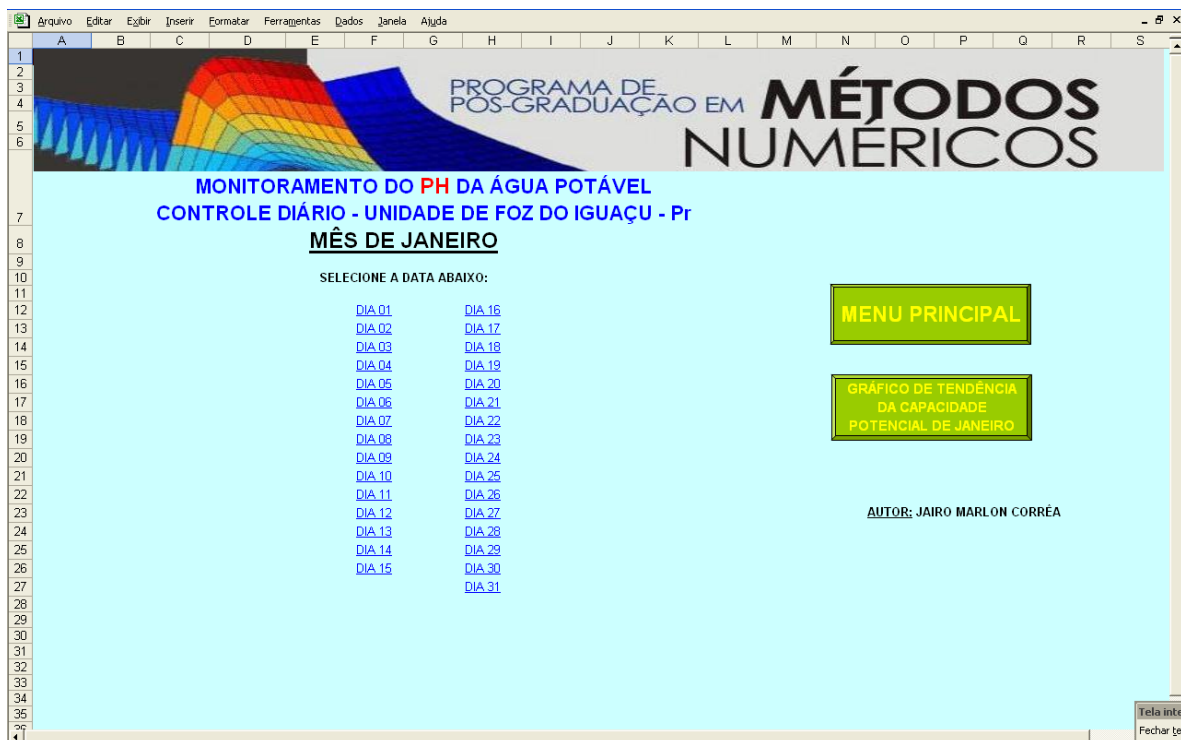


FIGURA 46 - MENU PH MÊS DE JANEIRO DE 2007

Fonte: O Autor

A tela da Figura 46 possui atalho para o menu principal, caso o usuário necessite. Há também um resumo do comportamento dos índices da capacidade potencial, que leva a um gráfico de tendência destes valores. O comportamento deste gráfico é de grande importância, uma vez que o monitoramento acusa que algo pode estar errado. O operador da ETA, pode estar analisando os fatores que causaram tal variação, o que pode ser feito para a melhoria do processo, caso o resultado seja inferior, ou detectar quais os fatores que fizeram com que o processo tenha melhorado em relação a um dado anterior.

Ao selecionar uma data, a partir da tela anterior, o programa leva a uma tela composta de diversas informações, conforme Figura 47. Os valores resultantes das amostras coletadas na estação de tratamento, devem ser inseridas no campo “Resultado da Análise”. A partir do segundo valor inserido, automaticamente o programa gera os pontos na carta de controle, calcula os índices de capacidade do processo segundo especificações em portaria e também em relação à faixa de operação além de marcar os valores que saíram de controle. De acordo com a Figura 47, nenhuma amostra saiu de controle durante as 12 amostras para o pH do dia 1 de janeiro de 2007, indicando que o processo esteve sob controle. Caso algum ponto ultrapasse algum desses limites de controle, deve-se imediatamente buscar qual o fator que contribuiu para esse comportamento.

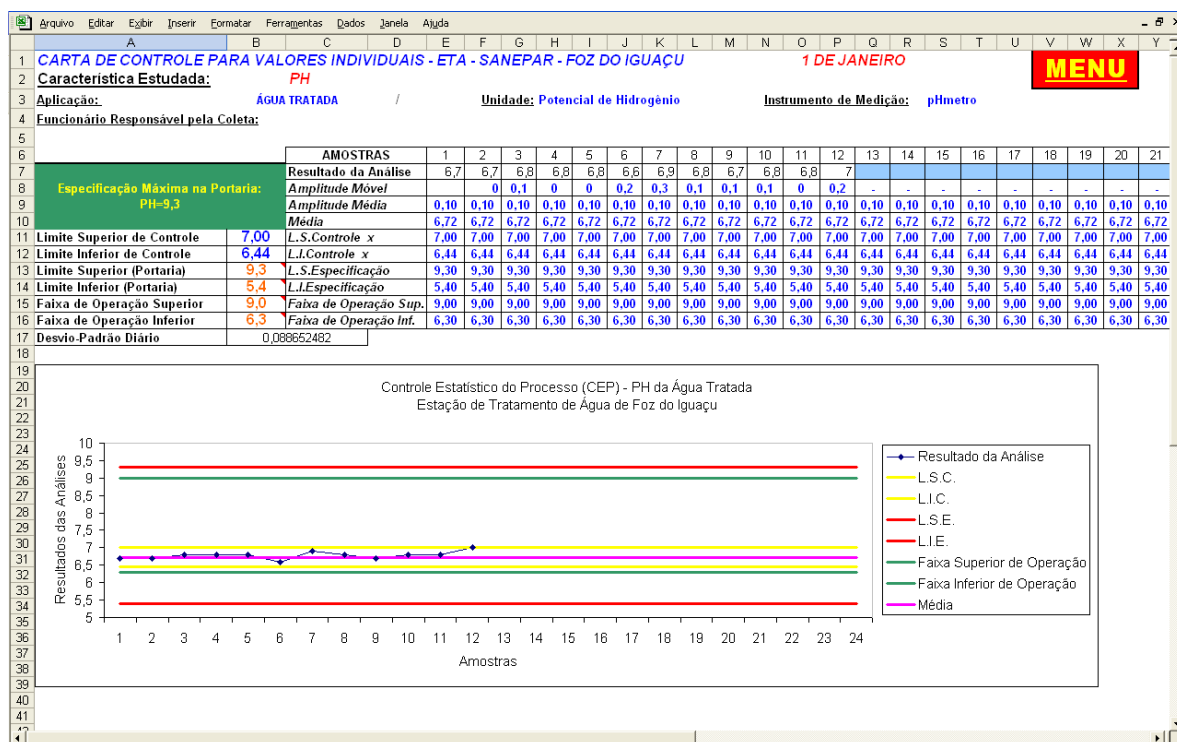


FIGURA 47 - CARTA DE CONTROLE PARA VALORES INDIVIDUAIS PARA O PH DO DIA 01 DE JANEIRO DE 2007.

Fonte: o Autor

Além do recurso gráfico, há também um recurso analítico que identifica quantas análises foram feitas no dia, quantos pontos saíram de controle e qual a capacidade do processo a cada novo ponto que se insere.

40	Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Gráfico Janela Ajuda																									
41	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	
42																										
43																										
44																										
45	CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE CONSIDERANDO ESPECIFICAÇÕES EM PORTARIA																									
46	Especificações em Portaria				Capacidade Potencial				Capacidade Real Cpk		1.56		Capacidade Efetiva													
47	Limite Superior de Especificação	1			Cp	2.46			Cps	3.36			Cpkm	0.85												
48	Limite Inferior de Especificação	0				O processo é CAPAZ			Cpi	1.6			O processo está descentrado do ponto médio das especificações													
49																										
50	CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE CONSIDERANDO ESPECIFICAÇÕES DA EMPRESA																									
51	Especificações Internas da Empresa				Capacidade Potencial				Capacidade Real Cpk		1.56		Capacidade Efetiva													
52	Limite Superior de Especificação	0.8			Cp	1.97			Cps	2.38			Cpkm	1.21												
53	Limite Inferior de Especificação	0				O processo é CAPAZ			Cpi	1.56			O processo está descentrado do ponto médio da faixa de operação													
54																										
55																										
56																										
57	RESUMO ESTATÍSTICO DO PROCESSO DO DIA																									
58																										
59																										
60	Número de Amostras no Dia																									
61																										
62	Número de Pontos Fora dos Limites da Portaria																									
63																										
64	Número de Pontos Fora da Faixa de Operação																									
65																										
66	Número de Pontos Fora dos 3 Sigmas																									
67																										
68																										
69																										
70																										
71																										
72																										
73																										
74																										
75																										
76																										
77																										
78																										

FIGURA 48 - CÁLCULO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE DO PROCESSO E RESUMO ESTATÍSTICO DO PROCESSO DIÁRIO

Fonte: O Autor

Estes índices da capacidade do processo são armazenados pelo programa e através do atalho “gráfico de tendência da capacidade potencial” presente no menu da Figura 44, e que gera o gráfico a seguir com os valores respectivos:

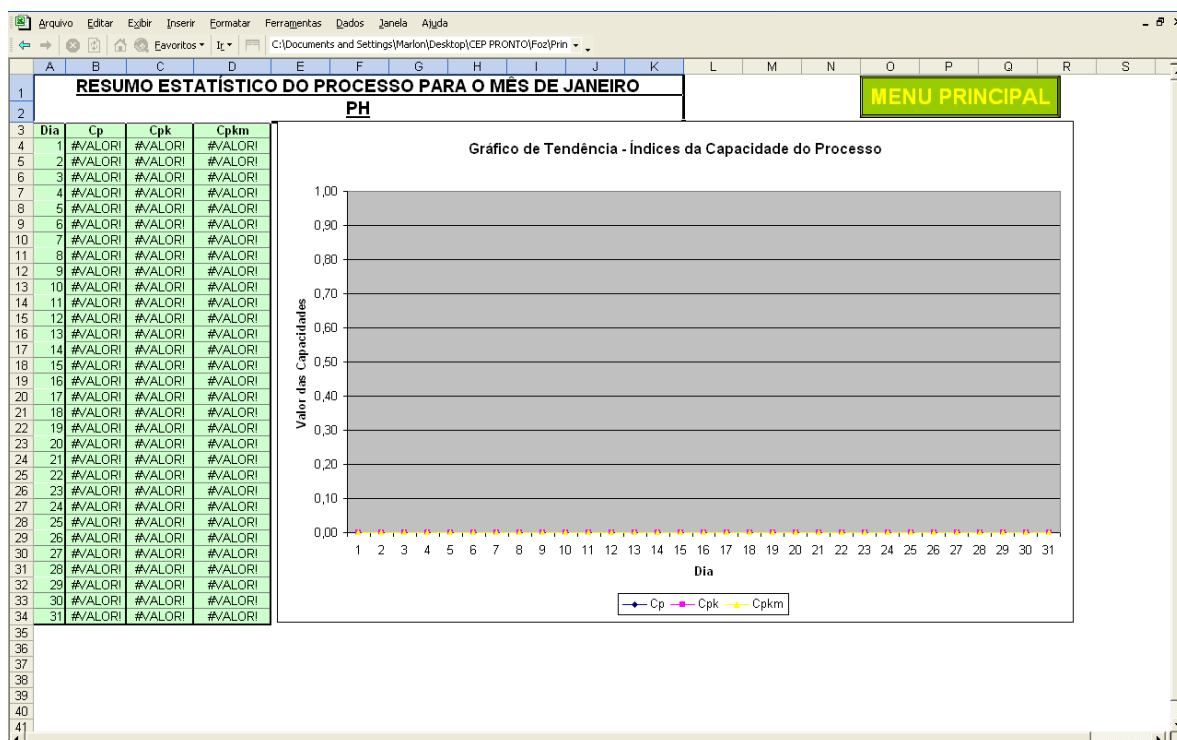


FIGURA 49 - GRÁFICO DOS ÍNDICES DE CAPACIDADE DURANTE O MÊS DE JANEIRO DE 2007

Fonte: O Autor

Análise dos resultados

Através da Figura 48, a análise deve ser feita primeiramente observando se há algum ponto fora dos limites. Se houver, terá que ser investigado qual a causa deste comportamento. Caso não houver ponto fora dos limites, ainda será necessária uma análise das características gráficas. Naturalmente os pontos devem estar aleatoriamente em torno da média. Um comportamento sistemático, como mais de cinco pontos consecutivos acima ou abaixo da média, indica que o processo está sendo influenciado por uma causa especial como mão de obra, material utilizado, meio ambiente, meios de medição, método de trabalho ou equipamentos utilizados. Caso isso ocorra, da mesma forma deve ser investigada a causa de tal comportamento. Caso ocorram 4 ou mais amostras consecutivamente crescente ou decrescente deve ser identificado a causa especial de variação que está atuando no processo.

Há situações distintas que caracterizam a carta de controle:

- Os valores não excedem algum dos limites, implicando que o processo está sob controle estatístico pois atende as exigências do Ministério da Saúde. Caso isso ocorra, a água produzida está de acordo para o consumo humano.

- Os valores excedem apenas os limites da faixa de controle baseados no desvio padrão das amostras do dia, implicando que o processo não está sob controle estatístico, porém, pode atender as exigências do Ministério da Saúde. As causas desta conduta devem ser identificadas para a redução da variação durante o processo de produção de água tratada. Caso isso ocorra, a água produzida ainda está de acordo para o consumo humano.
- Os valores excedem apenas os limites estipulados internamente pela Sanepar e não ultrapassam os limites da Portaria 518. Nesse caso, torna-se necessária uma ação preventiva, com a finalidade de fazer as correções necessárias, impedindo uma maior variabilidade futura.
- Os valores não atendem as especificações da Portaria. Nesse caso a água se torna imprópria para o consumo humano. A água, nesse estado, deve ser corrigida quimicamente, para que possa ser consumida pela população.

REFERÊNCIAS

ABREU, Lucijane Monteiro de & GRANEMANN, Sérgio Ronaldo & GARTNER, Ivan, BERNARDES & Ricardo Silveira. **Escolha de Um Programa de Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano: Aplicação do Método AHP.** Disponível em www.agriambi.com.br/revista/v4n2/257.pdf Acessado em 09-05-2006.

Água, um recurso cada vez mais Ameaçado. Disponível em www.idec.org.br/biblioteca/mcs_agua.pdf, Acessado em 9 de maio de 2006.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano. Manual de Hidráulica. 8º Edição. São Paulo, Edgard Blucher. 2000.

BEZERRA, Paulo Ricardo Cosme & MOURA, Francisco Venâncio. **Controle Estatístico de Qualidade Hospitalar.** Disponível em [http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bte/bte.nsf/81D60459E3289CAC03256EED0071B751/\\$File/NT0008E292.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bte/bte.nsf/81D60459E3289CAC03256EED0071B751/$File/NT0008E292.pdf). Acessado em 20 de maio de 2006.

BOMFIM, Otoniel da Silva & MOURA, Rislene Soares & MARINHO, Norma Suely Acioli & LUZ, Jose Willams. **Controle Estatístico do Processo Aplicado A Produção de Álcool.** Disponível em www2.al.senai.br/rmal/administracao/noticias/arquivos/alcool.PDF. Acessado em 31 de maio de 2006.

BRASIL. Portaria 518 de 25 de março de 2004. Fundação Nacional de Saúde. Brasília
CAMARGO, Tiane. **Aplicação Das cartas de controle Para Dados Individuais No Acompanhamento Da Taxa De Glicose.** Disponível em www.sis.org.ar/sis2004/Trabajos/APLICACAO_DOS_GRAFICOS.pdf. Acessado em 12 de julho de 2006.

CARMO, Fábio Henrique. **Sistema de Qualidade Analítica em um Laboratório de uma Estação de Tratamento de Água.** Disponível em

http://www.semasa.sp.gov.br/Documentos/Publicar_Internet/trabalhos/trabalho_179.pdf.

Acessado em 18 de julho de 2006.

CASTRO, Elias. **Controladoria e a Qualidade**. Disponível em <http://www.portalqualidade.com/repositorio/bibArq000964.doc> Acessado em 23 de maio de 2006.

COSTA, Elizabeth R. Halfeld da. **Melhoria da Qualidade da Água Tratada e Aumento da Capacidade de Etas Através da Escolha Adequada de Coagulantes e Auxiliares, em Águas com Alcalinidade Alta (Estudo de Caso)**. III Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em <http://www.abes-dn.org.br/eventos/abes/viiiisibesa/exemplo.doc> . Acessado em 20 de maio de 2006.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Segunda Edição. / Luiz Di Bernardo; Angela Di Bernardo Dantas – São Carlos: RiMa, 2005.

FEIGENBAUM, Armand V.. **Controle da Qualidade Total**. Volume 3. São Paulo: Makron Books, 1994.

JÚNIOR, Itamar França da Silva & OLIVEIRA, Verônica Carneiro de. **A Aplicação do Controle Estatístico de Processo Numa Indústria de Beneficiamento de Camarão Marinho no Estado do Rio Grande do Norte**. Revista Gestão Industrial, Publicado em 18/07/2005. Disponível em www.pg.cefetpr.br/ppgep/revista/revista2005/PDF3/RGIv01n03a06.pdf Acessado em 31 de maio de 2006.

JURAN, J. M.. **Juran na Liderança pela Qualidade**. 3ª Edição. Livraria Pioneira Editora, São Paulo. 1993.

KOWATA, Emília Akemi & RIBEIRO, José Tarcísio & TALLES, Dirceu D'Alkimin. **Estudo da Influência da Turbidez e Cor Declinantes Sobre a Coagulação de Água de**

Abastecimento no Mecanismo de Adsorção-neutralização de Cargas. Disponível em http://bt.fatecsp.br/arquivos/bt_10/trabalho5.PDF Acessado em 24 de maio de 2006.

LEVI, Yves. **Minimizing potential for changes in microbial quality of treated water.** Disponível em http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/en/piped2.pdf Acessado em 20 de maio de 2006.

MILAN, Marcos & FERNANDES, Ricardo Alves Thomaz. **Qualidade das Operações de Preparo de Solo por Controle Estatístico de Processo.** Disponível em www.scielo.br/pdf/sa/v59n2/8919.pdf. Acessado em 20 de maio de 2005.

MIRANDA, Carlos Silva & MONTEIRO, Teófilo Carlos do Nascimento. **Qualidade de água em sistemas de reservação e distribuição predial na cidade do Rio de Janeiro.** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 1989. Disponível em www.scielo.org/pdf/csp/v5n3/05.pdf Acessado em 20 de maio de 2006.

MONTEIRO, Daniella Aparecida & FERREIRA, Daniel Furtado & CARTOSO, Maria das Graças, MENDONÇA, Maria Cristina Angélico. **Controle Estatístico de Qualidade Multivariado Aplicado ao Processo de Produção.** Disponível em <http://www.sbiagro.org.br/vol4n2/artigo%204%20v4%20n2.pdf>. Acessado em 20 de maio de 2006.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade.** 4ª ed., LTC (2004).

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação, Floculação e Sedimentação de Água com Cor ou Turbidez Elevada.** São Carlos, SP. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-21012003-084719/>. Acessado em 24 de maio de 2006.

ROMERO, Valéria & SALGADO, Manoel Henrique. **Utilização de Ferramentas Estatísticas da Qualidade em uma Fábrica de Balas E Confeitos.** Disponível em

<http://www.simpep.feb.unesp.br/anais10/gestaoqualidprodutividade/arq26.PDF> Acessado em 31 de maio de 2006.

SANARE/Companhia de Saneamento do Paraná. V.14. Curitiba: Sanepar, 2000 – Semestral.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná: Tratamento de água, 2006. Disponível em <http://www.sanepar.com.br/sanepar/calandrakbx/calandra.nsf/0/56A795A0E63C1732832570330041B525?OpenDocument&pub=T&proj=InternetSanepar> Acessado em 06 de junho de 2006.

SANTOS, Paulo Aurélio. **Implementação de Modelo de Sistema da Qualidade em uma Empresa de Reboque: Avaliação dos Resultados**. Taubaté – SP, 2002. Disponível em http://www.unitau.br/prppg/cursos/ppga/mestrado/2002/santos_paulo_aurelio.pdf Acessado em 20 de maio de 2006.

SELBORNE, Lord. **A Ética do Uso da Água Doce: Um Levantamento**. Brasília: UNESCO, 2001. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001271/127140por.pdf>. Acessado em 21 de maio de 2006.

WESTGARD, James O. & BARRY, Patrícia L. & HUNT, Marian R.. **Gráfico Shewhart de Regras Múltiplas para Controle de Qualidade em Bioquímica**. Disponível em www.control-lab.com.br/pdf/westgard_shewhart.pdf Acessado em 26 de maio de 2006.

WESTGARD, James O. **Os Fazer e os não Fazer do Controle de Qualidade: Implicações para a tecnologia futura do CQ**. Disponível em www.control-lab.com.br/pdf/westgard_o_que_fazer.pdf. Acessado em 20 de maio de 2006

ANEXO I – FATORES PARA A CONSTRUÇÃO DE CARTAS DE CONTROLE PARA VARIÁVEIS

Fatores para Construção de Gráficos de Controle para Variáveis																
Observações na Amostra, n	Gráfico para Médias			Gráficos para Desvios Padrão						Gráficos para Amplitudes						
	Fatores para Limites de Controle			Fatores para Linha Central		Fatores para Limites de Controle				Fatores para Linha Central		Fatores para Limites de Controle				
	A	A_2	A_3	c_4	$1/c_4$	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	$1/d_2$	d_3	D_1	D_2	D_3	D_4
2	2,121	1,880	2,659	0,7979	1,2533	0	3,267	0	2,606	1,128	0,8865	0,853	0	3,686	0	3,267
3	1,732	1,023	1,954	0,8862	1,1284	0	2,568	0	2,276	1,693	0,5907	0,888	0	4,358	0	2,575
4	1,500	0,729	1,628	0,9213	1,0854	0	2,266	0	2,088	2,059	0,4857	0,880	0	4,698	0	2,282
5	1,342	0,577	1,427	0,9400	1,0638	0	2,089	0	1,964	2,326	0,4299	0,864	0	4,918	0	2,115
6	1,225	0,483	1,287	0,9515	1,0510	0,030	1,970	0,029	1,874	2,534	0,3946	0,848	0	5,078	0	2,004
7	1,134	0,419	1,182	0,9594	1,0423	0,118	1,882	0,113	1,806	2,704	0,3698	0,833	0,204	5,204	0,076	1,924
8	1,061	0,373	1,099	0,9650	1,0363	0,185	1,815	0,179	1,751	2,847	0,3512	0,820	0,388	5,306	0,136	1,864
9	1,000	0,337	1,032	0,9693	1,0317	0,239	1,761	0,232	1,707	2,970	0,3367	0,808	0,547	5,393	0,184	1,816
10	0,949	0,308	0,975	0,9727	1,0281	0,284	1,716	0,276	1,669	3,078	0,3249	0,797	0,687	5,469	0,223	1,777
11	0,905	0,285	0,927	0,9754	1,0252	0,321	1,679	0,313	1,637	3,173	0,3152	0,787	0,811	5,535	0,256	1,744
12	0,866	0,266	0,886	0,9776	1,0229	0,354	1,646	0,346	1,610	3,258	0,3069	0,778	0,922	5,594	0,283	1,717
13	0,832	0,249	0,850	0,9794	1,0210	0,382	1,618	0,374	1,585	3,336	0,2998	0,770	1,025	5,647	0,307	1,693
14	0,802	0,235	0,817	0,9810	1,0194	0,406	1,594	0,399	1,563	3,407	0,2935	0,763	1,118	5,696	0,328	1,672
15	0,775	0,223	0,789	0,9823	1,0180	0,428	1,572	0,421	1,544	3,472	0,2880	0,756	1,203	5,741	0,347	1,653
16	0,750	0,212	0,763	0,9835	1,0168	0,448	1,552	0,440	1,526	3,532	0,2831	0,750	1,282	5,782	0,363	1,637
17	0,728	0,203	0,739	0,9845	1,0157	0,466	1,534	0,458	1,511	3,588	0,2787	0,744	1,356	5,820	0,378	1,622
18	0,707	0,194	0,718	0,9854	1,0148	0,482	1,518	0,475	1,496	3,640	0,2747	0,739	1,424	5,856	0,391	1,608
19	0,688	0,187	0,698	0,9862	1,0140	0,497	1,503	0,490	1,483	3,689	0,2711	0,734	1,487	5,891	0,403	1,597
20	0,671	0,180	0,680	0,9869	1,0133	0,510	1,490	0,504	1,470	3,735	0,2677	0,729	1,549	5,921	0,415	1,585
21	0,655	0,173	0,663	0,9876	1,0126	0,523	1,477	0,516	1,459	3,778	0,2647	0,724	1,605	5,951	0,425	1,575
22	0,640	0,167	0,647	0,9882	1,0119	0,534	1,466	0,528	1,448	3,819	0,2618	0,720	1,659	5,979	0,434	1,566
23	0,626	0,162	0,633	0,9887	1,0114	0,545	1,455	0,539	1,438	3,858	0,2592	0,716	1,710	6,006	0,443	1,557
24	0,612	0,157	0,619	0,9892	1,0109	0,555	1,445	0,549	1,429	3,895	0,2567	0,712	1,759	6,031	0,451	1,548
25	0,600	0,153	0,606	0,9896	1,0105	0,565	1,435	0,559	1,420	3,931	0,2544	0,708	1,806	6,056	0,459	1,541

Para $n > 25$.

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}} \quad A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}} \quad c_4 \approx \frac{4(n-1)}{4n-3}$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}} \quad B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}$$

$$B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}} \quad B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$

**ANEXO II – PORTARIA 518 DE 25 DE JANEIRO DE 2004 –
MINISTÉRIO DA SAÚDE**